

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
Departamento de Química Industrial



TESIS DOCTORAL

**Extracción de fenol de las aguas residuales de la industria en
las columnas pulsantes utilizando como relleno anillas de
malla**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR

Horacio García Figueroa

Madrid, 2015

Horacio García Figueroa

10.363

52-80



* 5 3 0 9 8 5 3 0 4 4 *

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE

x - 53 - 044280 - 8

EXTRACCION DE FENOL DE LAS AGUAS RESIDUALES
DE LA INDUSTRIA EN LAS COLUMNAS PULSANTES
UTILIZANDO COMO RELLENO ANILLOS DE MALLA

Departamento de Química Industrial
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Complutense de Madrid
1980

© Horacio García Figueroa

Edita e imprime la Editorial de la Universidad
Complutense de Madrid. Servicio de Reprografía
Noviciado, 3 Madrid-8
Madrid, 1980

Xerox 9200 XB 480

Depósito Legal: M-10660-1980

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

**EXTRACCION DE FENOL DE LAS AGUAS
RESIDUALES DE LA INDUSTRIA EN LAS
COLUMNAS PULSANTES UTILIZANDO
COMO RELLENO ANILLOS DE MALLA**

MEMORIA

**Que para aspirar al grado de
Doctor en Ciencias Químicas**

PRESENTA

HORACIO GARCIA FIGUEROA

Madrid, Septiembre de 1979

El presente trabajo ha sido realizado en la Catedra de Química Industrial de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid, bajo la dirección del Doctor Don Angel Vian Ortuño, Catedrático titular de la misma, a quien expreso mi agradecimiento por su ayuda y consejos.

Asimismo, mi agradecimiento al Dr. Don José Maria Brusi, Dr. Julio Tijero y a todos los compañeros y amigos que con sus consejos, sugerencias y ayuda han contribuido a la ejecución del presente trabajo.

Madrid, Mayo de 1.979

INDICE

INTRODUCCION

1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.- ESTUDIO DEL SISTEMA TERNARIO

- a). Solubilidad del sistema
- b). Rectas de reparto
- c). Interpolación de las rectas de reparto
- d). Punto crítico

3.- DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

- a). Aparato de extracción
- b). Relleno

4.- METODO DE ANALISIS

- a). Método de Koppeschaar
- b). Análisis de la alimentación
- c). Análisis del refinado
- d). Análisis del extracto
- e). Análisis de la solución en blanco
- f). Cálculo de la concentración de fenol
- g). Reactivos

5.- PROGRAMA EXPERIMENTAL

- a). Relación de caudales constante
- b). Variación de relación de caudales

6.- RESULTADOS EXPERIMENTALES

7.- CALCULO DE LA EFICACIA

8.- DISCUSION E INTERPRETACION DE RESULTADOS

1º.- Eficacia absoluta de las mallas

- a). Variación de la H.T.U. con la frecuencia
- b). Variación de la H.T.U. con la amplitud
- c). Variación de la H.T.U. con la luz de malla a dis
tintas frecuencias.
- d). Variación de la H.T.U. con la luz de malla a dis
tintas amplitudes.

2º.- Eficacia relativa de los anillos malla respecto
a los anillos Raschig

3^a.- Influencia de la variación de relación de caudales.

9.- ESTUDIO ECONOMICO

10.- CONCLUSIONES

11.- BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

Introducción

- El presente trabajo se refiere a la industria del coque y al agua amoniacal que se produce en ella.
- En el capítulo I se describe la industria del coque y el agua amoniacal que se produce en ella.
- En el capítulo II se describe el agua amoniacal y su uso en la industria del coque.
- En el capítulo III se describe el agua amoniacal y su uso en la industria del coque.
- En el capítulo IV se describe el agua amoniacal y su uso en la industria del coque.
- En el capítulo V se describe el agua amoniacal y su uso en la industria del coque.

Coquización

- La coquización es el proceso de transformación de la hulla en coque y agua amoniacal.
- Por calentamiento de la hulla en ausencia de aire se desprenden productos gaseosos quedando un residuo sólido, duro, de estructura celular, el coque, que retiene los componentes minerales, la mayor parte del C de la hulla y pequeñas cantidades de otros elementos.
- Durante el calentamiento la hulla pasa por un estado plástico - para alcanzar finalmente una resolidificación pero continuando - la evolución de productos gaseosos cada vez más ricos en hidrógeno.
- Los productos gaseosos que se desprenden durante el calentamiento de la hulla son: el gas de hornos de coque, el agua amoniacal y el alquitrán.
- Los materiales volátiles y el coque residual tienen características muy diversas según la clase de hulla tratada, la temperatura de calentamiento y el tipo de los hornos empleados en el proceso.
- Concretándose a los productos gaseosos éstos están constituidos principalmente por una parte condensable a la temperatura ambiente y otra que continua en estado gaseoso, el gas de hornos de coque. Los productos condensados son el agua amoniacal y el alquitrán. El gas de hornos de coque está constituido principalmente por H_2 (alrededor del 50%), CH_4 (próximo al 25%) y cantidades variables de CO , CO_2 , N_2 , NH_3 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_6H_6 y homólogos, SH_2 , CNH , $SCNH$, etc.
- La naturaleza del alquitrán y su rendimiento en la destilación dependen fundamentalmente de la temperatura de trabajo. A medida que ésta aumenta el alquitrán es más aromático, su cantidad disminuye y hay una tendencia creciente a cortarse las cadenas lineales enlazadas a los núcleos aromáticos y a destruirse los fenoles que existen en gran cantidad en los alquitranes de baja temperatura. Los alquitranes de baja temperatura son fundamentalmente parafínicos.

Condensación

Cuando se condensa el agua amoniacal se disuelven en ella una parte de los productos contenidos en el gas y el alquitrán no pudiendo hablarse del establecimiento de un equilibrio porque las condiciones prácticas de las plantas de condensación no están previstas para este fin. El enfriamiento de los gases desprendidos de los hornos, para la separación de los productos condensables se hace en dos fases netamente diferenciadas y que dan lugar a la obtención de productos diferentes aunque finalmente se reúnen todos ellos.

Cuando los gases de la destilación abandonan los hornos su temperatura es del orden de los 550°C . Los gases salen de los hornos por tubos verticales situados en la parte superior de los mismos para unirse los de todo el bloque de hornos, llamado batería, en un colector general conocido por "barrilete". Las válvulas situadas antes de la entrada de cada tubo al colector permiten aislar los hornos durante las operaciones de carga y descarga.

Justamente en la conexión de cada tubo montante con el barrilete los gases calientes se ponen en íntimo contacto con agua amoniacal finamente pulverizada. Una parte de esta agua se evapora y el calor latente que absorbe enfría el gas hasta su temperatura de saturación que varía entre 80 y 85°C . Este enfriamiento brusco determina la separación inmediata de una parte importante del alquitrán que corre por el barrilete que está inclinado junto con el agua amoniacal no evaporada a un decantador donde ambos componentes se separan. En el barrilete, por tanto, se produce una incorporación del agua al gas. El agua evaporada en este circuito cerrado constituido por barrilete, decantador y bomba de circulación, se repone con una parte del agua amoniacal obtenida en los refrigerantes primarios.

Los gases saturados en vapor de agua que salen del barrilete se conducen a los refrigerantes primarios donde se enfrían hasta casi la temperatura ambiente. La práctica europea emplea para este fin cambiadores de calor en los que el enfriamiento se consigue de modo indirecto pasando el gas por la parte exterior de bancos de tubos, generalmente en disposición horizontal, mientras el agua circula por el interior. En la práctica americana está muy difundido efectuar la refrigeración por contacto directo con agua amoniacal previamente enfriada con agua en un cambiador indirecto. El agua amoniacal circula en un circuito cerrado por los dos aparatos y como su volumen aumenta por la condensación del vapor

de agua contenido en el gas, el exceso rebosa continuamente por la parte baja de la torre de contacto en la que se efectúa simultáneamente la decantación del alquitrán que también se condensa durante el enfriamiento y sale por la purga inferior.

Agua amoniacal: origen y cantidad producida

El agua que se desprende de la hulla en la coquización tiene diversos orígenes:

- a) La combinación de una parte importante del O_2 del carbón con el H_2 que asimismo contiene.
- b) La combustión de alguna pequeña cantidad del gas desprendido (cuya 50% es H_2) por aire que puede entrar por falta de estanqueidad de los hornos, a pesar de que es una norma práctica el mantener una ligera sobre presión en los tubos de salida, del orden de 2 mms. C.
- c) El agua aportada por el primer concepto puede ser muy variable. Sin embargo se puede adoptar como medio un 7% de humedad en el carbón que se introduce en los hornos. Desde los puntos de vista energético y de conservación del refractario de los hornos sería bueno alcanzar este contenido; sin embargo desde el punto de vista de alta de carga alta es conveniente esta humedad, algo elevada, porque ello favorece la obtención de un coque más denso y más compacto.

En cuanto a los dos últimos conceptos hay que basarse en datos prácticos para su evaluación. Los autores americanos hacen una estimación media de 9,5 galones por tonelada corta de carbón seco lo que equivale aproximadamente al 4% de su peso. La cantidad de agua total a obtener en la destilación de una Tm de carbón con una humedad porcentual H será:

$$1.000 \frac{H}{100} + (1.000 - 10H) \frac{4}{100} = 40 + 9,6 H \text{ Kgs}$$

Así, un carbón con 7% de humedad debe producir aproximadamente 107,3 lbs. de agua amoniacal por Tm de carbón húmedo.

El fenol en el agua amoniacal

El O_2 de composición de la hulla se combina en parte con el H_2 del mismo origen para formar agua, pero también lo hace con el C

para dar CO y CO₂ que quedan en el gas. Una pequeña parte de ese O₂ queda enlazado en compuestos más complejos de los que posiblemente los más abundantes son los fenoles. Puesto que el fenol y sus homólogos son más o menos solubles en el agua una parte de los mismos queda en el agua amoniacal siendo uno de los mayores obstáculos al vertido de las mismas por su toxicidad para los peces, siendo lo permitido por la Organización Mundial de la Salud para el Agua Potable (0,001 mg/l) (15)

El contenido en fenol del agua amoniacal es muy variable y en la literatura se citan valores que van desde 0,6 a 10 gr/l. Sin embargo los números más repetidos son del orden de 3 gr/l y ese será el que se adoptará como más fiable.

Conviene, no obstante hacer una observación a este respecto: Tradicionalmente se recupera el amoniaco producido en la coquización de la hulla, en base a su transformación en (NH₄)₂SO₄. En el agua amoniacal que hasta ahora se ha citado está contenido aproximadamente el 50% del amoniaco que se produce en la destilación de la hulla y, a pesar de su extraordinaria solubilidad, queda en el gas el otro 50%. La transformación de todo el amoniaco en (NH₄)₂SO₄ exige recuperar del gas ese resto y hay dos caminos para ello: Pasar el gas por un baño de ácido sulfúrico o lavarlo con agua y recogerlo en forma de una solución amoniacal que contiene cerca de 10 gr/l. Cuando el proceso seguido es el segundo se comprende que aparecen otras nuevas aguas amoniales cuyo contenido en fenol es mucho más bajo que en las primeras puesto que ya se ha separado el alquitrán y este agua amoniacal secundaria no tiene oportunidad de ponerse en contacto con él, y solo puede absorber algo de lo que permanece en forma gaseosa.

Por último las aguas amoniales se destilan en columnas de rectificación para arrancar el NH₃ que contienen. Los vapores de cabeza se conducen directamente al baño de ácido sulfúrico en el segundo caso, o se unen a la tubería del gas antes de la neutralización en el primer procedimiento. En el segundo método de trabajo el volumen de agua amoniacal es mayor que en el primero, pero su contenido en fenol es correspondientemente inferior.

Por fin ha de señalarse que para la destilación del agua amoniacal es normal utilizar la inyección directa del vapor como medio de calefacción con lo que el volumen de las aguas residuales de las que ya se separó el amoniaco pero que contienen una gran parte de su fenol es mayor en cualquier caso que el citado incluso en el procedimiento llamado "semidirecto" en el que el gas de hornos de coque pasa por el saturador. El fenol desprendido del agua amoniacal a su paso por la columna va al gas nuevamente en el procedimiento semidirecto mientras que aparece en su mayor parte en el agua recogida en el condensador que vá en cola del saturador en el método indirecto (lavado del

gas con agua y destilación del agua con absorción de los vapores amoniacales en H_2SO_4). En el caso de utilizar el procedimiento se midierecto la concentración de fenol a considerar sería de 2 gr/l y su volumen un 10% mayor aproximadamente.

Composición de los fenoles del agua amoniacal

Como es natural en el alquitrán se encuentra tanto el fenol como los cresoles y xilenoles. En términos generales se expresa como -- "fenol" el producto obtenido. Aunque hay muchas posibilidades de agrupación, se indica una composición típica del producto soluble en álcalis:

Fenol	57%
o-cresol	13%
m-cresol	8%
p-cresol	10%
Xilenoles	12%

Estimación de las cantidades disponibles

Partiendo de los datos que pudieron obtenerse, la capacidad actual de fabricación de coque en España es la siguiente:

Provincia de Oviedo	3.630.000 Tm/año
" " Vizcaya	1.050.000 " "
" " Valencia	360.000 " "
" " Santander	150.000 " "

Total 5.190.000 Tm/año

Con una relación práctica: coque húmedo = 0,75 x carbón húmedo, la hulla necesaria para alcanzar esta producción asciende a 6.920.000 Tm/año. De acuerdo con la cifra de 107 lts de agua amoniacal/Tm de carbón con 7% de humedad, durante la destilación de esa hulla deben obtenerse 555,330 m3 de agua amoniacal.

Los fenoles de esta agua amoniacal, evaluados a 3gr/l, ascenderían a 1.666 Tm/año.

Es un poco vergonzante el decirlo pero la falta de valor económico de este producto, hizo que no se le dedicara la atención debida en la coquería. La única empresa que hizo alguna determinación de fenoles en este subproducto fué Ensidesa, hace ya muchos años, y sin que los datos obtenidos tengan valor en el sentido que se buscan -- proque las muestras no son representativas de la producción total sino que corresponden a puntos determinados del circuito de condensación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las columnas de relleno son uno de los aparatos más utilizados en ingeniería química para las operaciones de transferencia de materia. El contacto entre las fases, logrado con el relleno, es mayor que el obtenido con los platos de borboteo y permite conseguir un rendimiento también mayor en los procesos de difusión,

Se ha confirmado el interés que tiene el relleno en la destilación y absorción; pero en la extracción líquido-líquido hay una diferencia notable con respecto a la destilación y absorción. Mientras en estas hay un contacto entre fase líquida y gaseosa, en la extracción líquido-líquido hay contacto de dos fases líquidas con un juego de tensiones interfaciales más difíciles de vencer. Las tensiones interfaciales son de un orden de magnitud bastante superior al que existe entre una superficie líquida en contacto con una fase gaseosa, lo que exige el empleo de una energía adicional.

La energía de que disponen las gotas de la fase dispersa, es la resultante de la gravedad y el empuje hidrostático, que son fuerzas de sentidos opuestos, y, además, las diferencias de densidades entre fases líquidas es pequeña en general; por otra parte, la extracción será en principio tanto más eficaz, cuanto menores sean las gotas - (lo cual supone mayor rozamiento y, por lo tanto, menor velocidad de descenso o ascenso). La energía cinética alcanzada por las gotas debido a la gravedad, es insuficiente para romper las películas.

Para comunicar una energía adicional a las gotas dispersas, el recurso empleado es la agitación mecánica en el sistema, comunicándole unas pulsaciones periódicas, de frecuencia y amplitud variables, como ya se utilizan en la tecnología química industrial: las columnas pulsantes.

La agitación en las operaciones de transferencia de materia está fundada en la producción de una turbulencia, que al reducir los coeficientes de película, disminuya el valor de la H.T.U. o de la H.E.T.P. con reducción de la altura total de la columna para un grado de extracción determinado.

Esta agitación puede conseguirse por muchos caminos (1) (2): mediante fuelles, diafragmas, bombas alternativas de émbolo, insuflación de gas o pulsación electrónica; nosotros usaremos el sistema de pulsación mecánica que consigue una agitación reproducible, fácil y eficaz.

En estas columnas se han empleado como relleno diversos materiales de variadas formas y tamaños. Uno de los más utilizados es el de anillos de Raschig: tubos con la misma altura que diámetro, en diversos tamaños. Hay también modificaciones de los mismos, como son los anillos de Lessing, que añaden al de Raschig una pared en el plano meridiano, o los anillos de Pall, con las paredes perforadas y desviadas hacia el centro del cilindro, monturas de Berl o Intalox y hélices normales o de Tellerette. (3).

Todas estas estructuras tratan de aumentar el contacto interfacial, que es la condición fundamental para mejorar las operaciones de di fusión.

En la Cátedra de Química Industrial de la Universidad de Madrid, el Doctor Vian estudio, desde años, una sencilla modificación de los anillos Raschig aplicable a los rellenos de columnas, consistente en confeccionar los anillos con mallas metálicas de diversas características.

La idea generatriz fue expuesta por Vian y Segura (2) en la tesis doctoral del último, donde se estudió el caso concreto de la rectificación de mezclas binarias. Las modificaciones que se han propuesto para los anillos Raschig están inspiradas en la idea exclusiva de aumentar la superficie activa, tal vez por no haberse previsto otra variable funcional que la superficie de contacto.

Pero Vian y Segura han demostrado que la superficie de relleno es solo un factor en el contacto líquido-vapor, ya que al descender el líquido y ascender el vapor ocurren otros fenómenos, tales, el borboteo del vapor a través de la película líquida que se forma en la malla, y el goteo por percolación del líquido a través de la misma, y, por supuesto, un deslizamiento semejante al que se produce en el anillo continuo.

Posteriormente, Vian y Lladó (5), en la tesis doctoral del segundo, aplicaron dicho tipo de relleno al fenómeno de absorción de gases en líquidos, confirmando los resultados anteriores y hallando nuevas ventajas en el empleo de anillos de malla.

Ultimamente, Vian y Brusi (6), en la tesis doctoral del segundo, aplicaron este nuevo tipo de relleno en la extracción líquido-líquido y hallaron más ventajas, sobre todo una mayor eficacia, con la consiguiente disminución de la altura de la columna, y, por lo tanto, una reducción apreciable del coste del inmovilizado.

Variables que rigen la extracción líquido-líquido:

Químico-físicas:

Viscosidad μ , difusividad D , densidad ρ y tensión interfaccial σ

Geométricos:

Diámetro de la columna D, tamaño nominal del relleno h, luz de malla del relleno L

De operación:

Caudales de extracto Ge, y de refinado Gr, amplitud de pulsación A y frecuencia de pulsación F.

Del análisis dimensional planteado según el teorema de Buckingham o por el método de Rayleigh, resulta -excluyendo la tensión interfaccial- la expresión clásica:

$$H.T.U. = \phi (Re, Sc)$$

El estudio de la dependencia funcional entre la H.T.U. y los números de Reynolds y de Schmit, requiere unas pruebas de significación a fin de determinar las magnitudes características, respecto a los que se han de establecer los distintos criterios de analogía.

En las operaciones de transferencia de materia en que las fases discurren uniformemente a través de una columna de relleno, se adopta -como dimensión lineal representativa el tamaño nominal del relleno, h. Cuando una de las fases está constituida por gotas que se desplazan respecto a la otra fase, la magnitud lineal representativa del -regimen fluido-dinámico es el diámetro medio de las gotas, de manera que el número de Reynolds, se expresaría en la forma:

$$Re = \frac{d_g V_t \rho_g}{\mu_g}$$

Referidos a la fase dispersa.

En ausencia de otro tipo de acciones que no sean las debidas al rozamiento entre las fases dispersante y dispersa, las gotas descienden con la velocidad límite Vt dada por la ley de Stokes.

Sin embargo la agitación modifica sensiblemente la velocidad lineal de la fase dispersa respecto a la dispersante, por ello, el desplazamiento relativo de las fases ha de referirse a los variables de -

agitación AyF cuyo producto da la velocidad máxima de agitación.

Asimismo, la luz de malla del relleno, según se discute más adelante, es la que determina junto las variables químico-físicas y operativas el tamaño medio de las gotas, por lo que se propone la siguiente forma del número de Reynolds de la fase dispersa:

$$Re = \frac{L A F \rho}{\mu}$$

La pulsación origina:

- El desplazamiento relativo de las gotas
- La deformación de la interfase
- El aumento del recorrido medio
- La ruptura de las gotas en otras más pequeñas
- La coalescencia de gota

La presencia de relleno aumenta de manera general los fenómenos inducidos por la agitación. Cuando este relleno está constituido por anillos de malla, de una parte, se exaltan los aspectos anteriormente considerados, y de otra, se presentan fenómenos específicos. Así, cuando una gota de la fase dispersa encuentra en su recorrido la malla del relleno, si posee energía suficiente, pueden atravesarla, e incluso fragmentarse en otras más pequeñas. Para ello, su energía cinética ha de superar el trabajo contra las fuerzas de tensión interfaccial, debidos al aumento de superficie que conlleva su deformación y aún más, su ruptura.

Por tanto, se ha de comparar ambas magnitudes:

$$\frac{E\sigma}{E} = \frac{\frac{1}{2} m v^2}{\sigma A a}$$

Si se expresa la masa como producto de la densidad por el volumen de gota, se llega al número adimensional de Weber:

$$W_b = \frac{v^2 \rho L}{\sigma}$$

En el caso que nos ocupa, la energía cinética de la gota en movimiento pulsante es máxima para $V_{max} = A.F.$, con lo cual, se tiene:

$$W_b = \frac{A^2 F^2 \rho L}{\sigma}$$

En consecuencia, el número de Weber expresa la influencia de las variables de agitación, la tensión interfaccial y una magnitud Lineal L, (luz de malla del relleno). Esta magnitud influye sobre los fenómenos de ruptura y coalescencia entre gotas.

Así pues, la eficacia de la operación, como H.T.U. vendrá dada por la expresión general:

$$HTU = f(Re, Sc, W_b)$$

Nuestro trabajo se basará en la extracción de fenol de las aguas residuales de la industria, utilizando benceno como disolvente selectivo (7). La extracción se realiza en columna pulsante, empleando como relleno anillos Raschig, y anillos malla para comparar.

El presente trabajo estudiará la influencia de las variables causantes de la pulsación (amplitud y frecuencia), y las características de los anillos (luz de malla), en función de las unidades de transmisión.

Para concretar el problema fijemos ciertas condiciones - Naturaleza del sistema y temperatura- y operemos en una columna de condiciones dadas, con un material de relleno determinado, a temperatura ambiente, para el sistema benceno-fenol-agua, variando la frecuencia y la amplitud y manteniendo constante la relación de caudales.

Se ha estudiado también la influencia de la variación de relación de caudales. Se han tratado soluciones diluidas de fenol (20 gr/l) con benceno como disolvente selectivo.

Por último, hacemos un estudio económico, para determinar la malla - óptima económica.

Tal experimentación ha de suministrar datos comparativos suficientes que nos permitirán ejuciar el comportamiento de los anillos de malla respecto a los correspondientes de Raschig, en iguales condiciones de trabajo.

La posible generalización de las conclusiones obtenidas permitirá --
aplicar al diseño de columnas de relleno este nuevo tipo de relleno.

ESTUDIO DEL SISTEMA TERNARIO

a) Solubilidad del sistema.

Un estudio sobre la solubilidad mutua en un sistema ternario (8) implica el conocimiento de una serie de propiedades del sistema que iremos reflejando, para mayor claridad, en gráficas.

Las más importantes podemos reunirlos en una sola gráfica, en la que se encontrarán representadas la curva de equilibrio y los de reparto (9).

Para presentar la composición de sistemas ternarios se utilizan diagramas triangulares, concretamente triángulos equiláteros.

Todo componente puro aparecerá representado en uno de los vértices del diagrama triangular, de tal modo que las combinaciones binarias correspondan a los puntos que forman las rectas de los lados, y las ternarias a los puntos interiores del diagrama.

Para determinar los puntos representativos de la curva de equilibrio, partimos de combinaciones binarias de fenol y agua, a las que vamos añadiendo benceno hasta que la fase transparente se transforme en turbia (punto de niebla). En este momento hemos obtenido un punto de la curva de equilibrio.

Véanse los datos obtenidos en la table nº 1, y la curva de equilibrio en la gráfica nº 2.

b) Rectas de reparto

Para obtener una recta de reparto, se obtiene la composición de dos puntos situados sobre la curva de equilibrio en dos fases diferentes y entre las cuales hay un equilibrio de solubilidad.

Para ello recurro al diagrama triangular, tomando un punto del interior de la curva de equilibrio, éste punto tendrá por tanto los tres componentes, calculando su composición mediante el diagrama antes mencionado.

Una vez hecho esto efectuamos la mezcla ternaria de dicho punto, y agitamos durante un tiempo suficiente. Lo dejamos decantar el tiempo necesario para que se separen dos fases: fase acuosa y fase bencénica.

A continuación, analizamos las dos fases por el procedimiento descrito anteriormente, comprobando que coincide con los datos bibliográficos (8).

Veanse los datos obtenidos en la tabla nº 2, y las líneas de reparto representadas en la gráfica nº 3.

c) Interpolación de las líneas de reparto. Si tenemos la política de reparto, podemos conseguir un número limitado de líneas de reparto. Sin embargo, puede ocurrir que necesitemos conocer una no representada aquí.

Por ello (9), es preciso corrientemente interpolar y aún extrapolar entre los datos existentes. La interpolación directa en el diagrama triangular o en el de concentración-contenido en disolvente es poco aproximada y no suele ser utilizada.

Si lo es, en cambio, la basada en el diagrama de distribución. Los métodos utilizados suelen basarse en ecuaciones de tipo más o menos empírico o en construcciones gráficas. De éstos, utilizamos el de la línea conjugada, consistente en dibujar otro triángulo equilátero, con la misma base que aquél en que está dado el diagrama, y trazar paralelas a los lados de éste nuevo triángulo por los extremos de las rectas de reparto. Las intersecciones de éstas determinan una línea que, una vez trazada, permite la interpolación inmediata. Si se considera cada una de las rectas anteriores y la paralela a la base por el punto conjugado, aparecen otras dos nuevas líneas de referencia que se unen en el punto crítico.

Véase la gráfica nº 4.

d) Punto crítico. Se sabe que el punto crítico es el punto en el que se encuentran las dos ramas de la curva de reparto. Podíamos averiguar la composición del punto crítico mediante tanteos, pero este método, además de largo sería inexacto, por lo cual recurrimos a métodos gráficos, tal como el de Treybal, Weber y Daley (10); en papel doble logarítmico, se representan en ordenadas los valores de X_{CA}/X_{AA} y en abscisas X_{CB}/X_{BB} .

(Véase la tabla nº 3) siendo:

X_{CA} = Concentración de fenol en la fase acuosa
 X_{AA} = Concentración de agua en la fase acuosa
 X_{BB} = Concentración de benceno en la fase bencénica
 X_{CB} = Concentración de fenol en la fase bencénica

obteniéndose una curva, en la que se encuentran las dos ramas que representan la fase rica en agua y en su prolongación la rica en benceno, coincidiendo en el punto crítico.

TABLA Nº 1
SOLUBILIDAD DEL SISTEMA BENCENO-FENOL-AGUA
TANTO POR CIENTO EN PESO

Fenol	Benceno	Agua
0	0,198	99,802
1,059	0,204	98,737
2,602	0,205	97,193
3,526	0,199	96,275
5,65	0,17	94,18
5,953	0,132	93,915
6,516	0,075	93,409
7,683	0,025	92,292
8,195	0	91,805
70,70	0	29,29
71,63	1,62	26,75
74,5	3	22,5
69,18	16,33	14,49
55,80	36,13	8,07
44,39	50,56	5,05
21,25	77,22	1,63
4,78	94,98	0,24
0	99,95	0,05

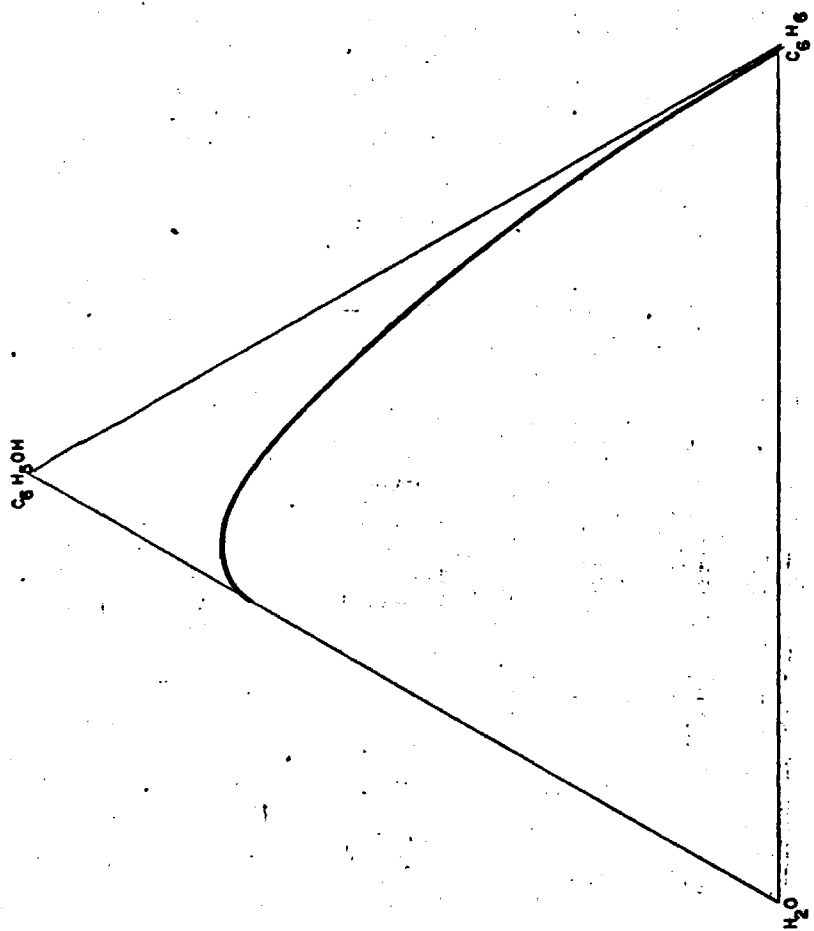


DIAGRAMA DE EQUILIBRIO

FIG. 2

TABLA Nº 2

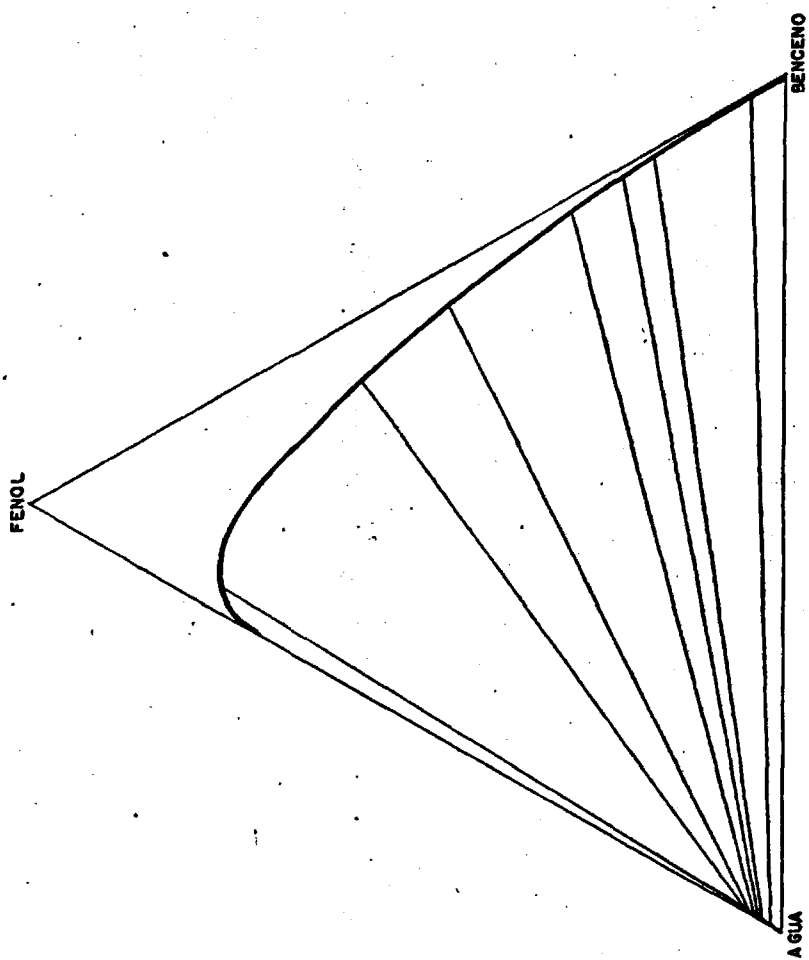
TANTO POR CIENTO EN PESO

CAPA SUPERIOR

FENOL	BENCENO	AGUA
0	99,95	0,05
4,78	94,98	0,24
17,36	81,83	0,81
21,15	77,22	1,63
28,01	69,81	2,18
44,39	50,56	5,05
55,80	36,13	8,07
74,5	3	22,5
70,70	0	29,29

CAPA INFERIOR

0	0,198	99,802
1,43	0,21	98,36
2,80	0,21	96,99
3,01	0,21	96,77
3,35	0,21	96,34
4,07	0,19	95,74
4,58	0,19	95,23
5,65	0,17	94,18
8,195	0	91,805



RECTAS DE REPARTO

FIG. 3

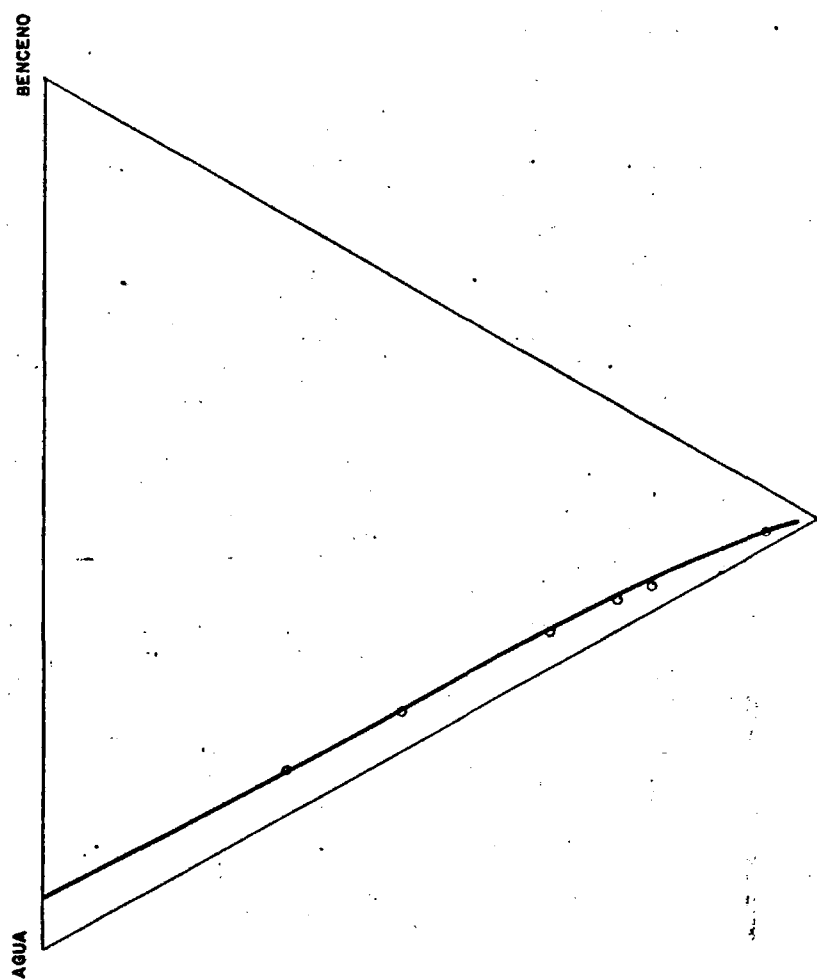


FIG. 4 CURVA DE INTERPOLACION

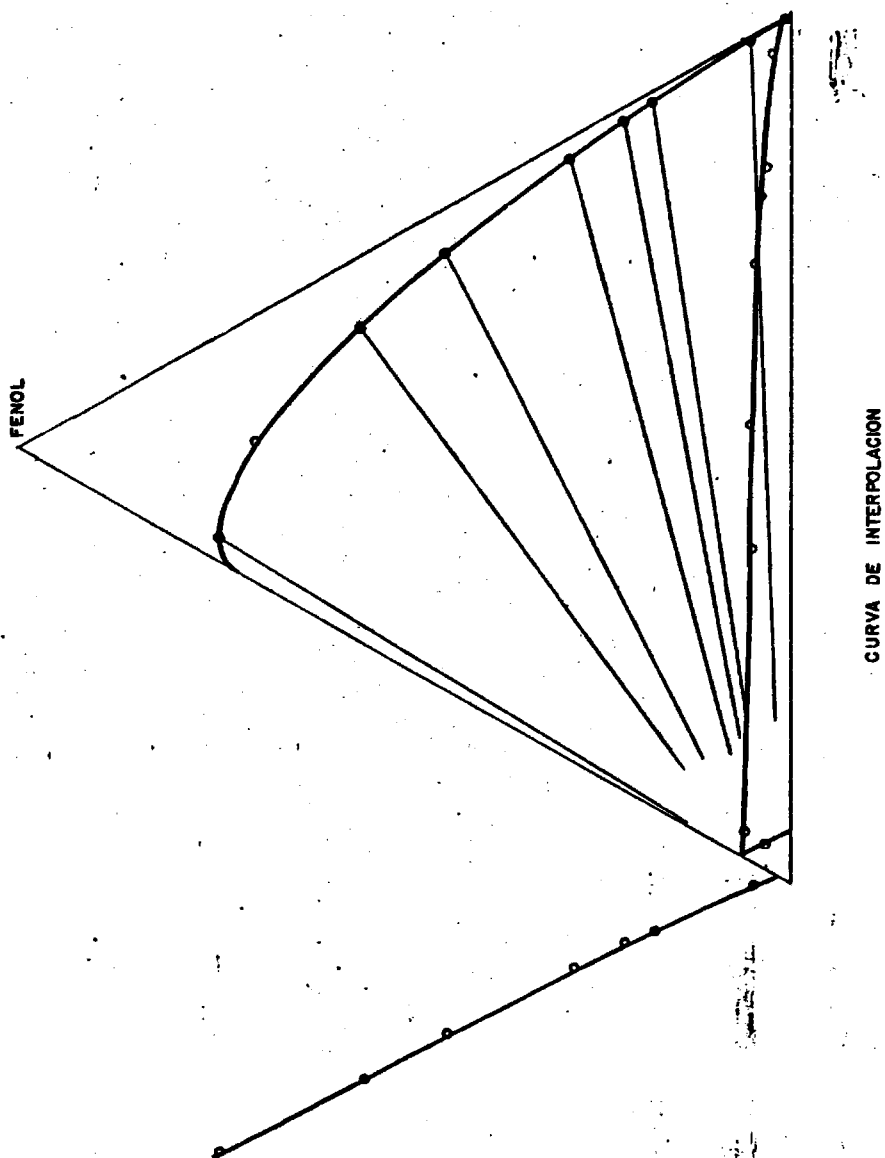


FIG. 4

Se puede utilizar este gráfico para interpolación de rectas de reparto, con la ventaja sobre el de "Othmer y Tobias" (11); de que aquí interviene la concentración de fenol que es más interesante.

En el mismo gráfico representamos la curva de equilibrio, a partir de los datos X_C/X_B en abscisas, frente a X_C/X_A (véase la tabla nº 3), siendo:

X_A = Concentración de agua
 X_B = Concentración de benceno
 X_C = Concentración de fenol

Obtenemos así una línea que se corta con la anterior en un punto, que será el Punto Crítico (véase la gráfica nº 5).

Por lo tanto, en éste punto se cumplirá:

$$X_{CB}/X_{BB} = X_C/X_B \quad \text{y} \quad X_{CA}/X_{AA} = X_C/X_A$$

De esta forma, y recurriendo al gráfico tenemos que:

$$X_C/X_B = 35 \quad \text{y} \quad X_C/X_A = 0,06$$

y como

$$X_A + X_B + X_C = 100$$

resolviendo este sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas:

$$X_A = 94,16 \quad X_B = 0,16 \quad X_C = 5,65$$

luego, la composición del punto crítico es:

5,65 % en peso de fenol
0,16 % en peso de benceno
94,16 % en peso de agua

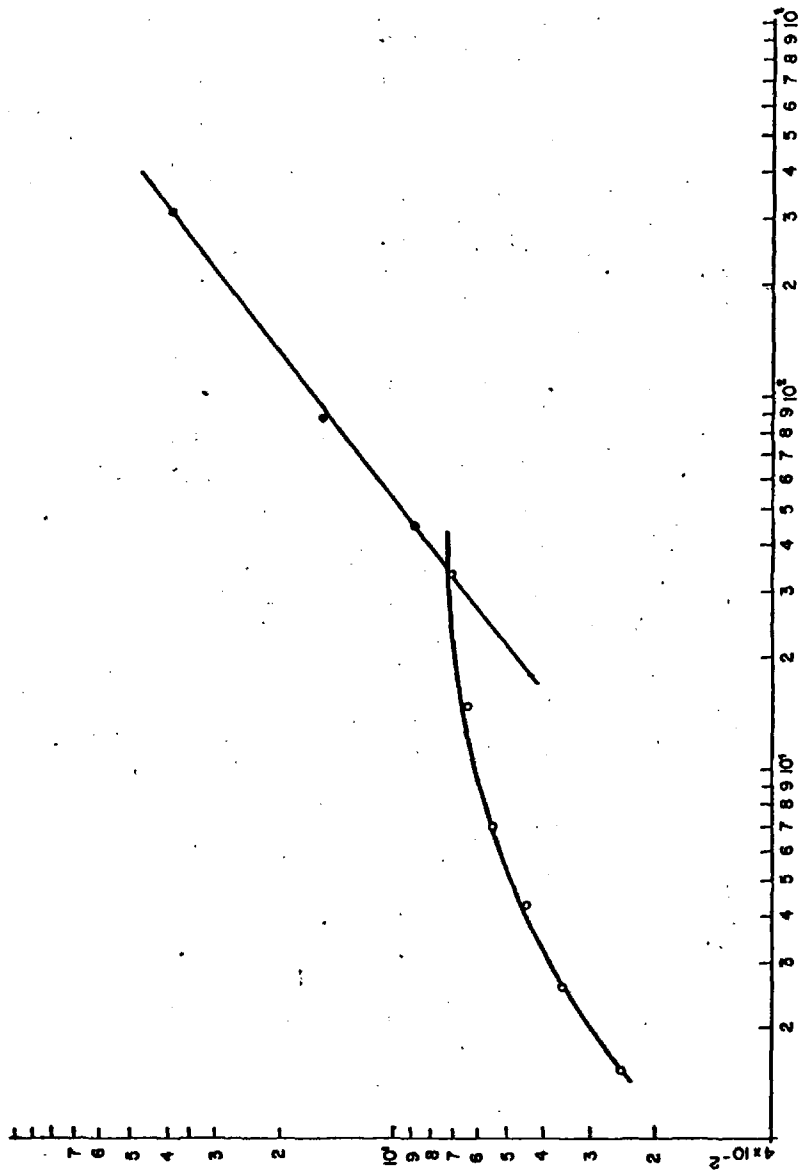
TABLA Nº 3

CURVA DE DISTRIBUCION

x_{CA}/x_{AA}	x_{CB}/x_{BB}
$4,58/95,23 = 0,048$ $5/94,5 = 0,052$ $5,12/94,7 = 0,054$ $5,3/94,3 = 0,056$ $5,5/94,2 = 0,058$ $5,65/94,18 = 0,059$	$55,8/36,3 = 1,544$ $63,7/25 = 2,548$ $69,18/16,33 = 4,236$ $70,2/10 = 7,02$ $74/5 = 14,8$ $74,5/3 = 24,833$

CURVA DE SOLUBILIDAD

x_C/x_A	x_C/x_B
$5,65/94,18 = 0,0599$ $5,953/93,915 = 0,0633$ $6,516/93,409 = 0,0697$ $7,683/92,292 = 0,083$	$5,65/0,17 = 33,235$ $5,953/0,132 = 45,098$ $6,516/0,075 = 86,88$ $7,683/0,025 = 307,32$



PUNTO CRITICO

FIGURA 5

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

a) Aparato de extracción

En la figura 1, se representa en esquema el aparato empleado para verificar la extracción, y que se describe con algún detalle.

Sobre una plataforma, fijada a la pared mediante una estructura metálica de perfiles angulares ranurados "Dexión", a la altura máxima que permite el laboratorio, están colocados, un frasco de 10 litros de capacidad con las aguas fenólicas, y otro de 5 litros, con el benceno. Esta altura es necesaria para conseguir la suficiente presión hidrostática y los caudales convenientes de ambos líquidos.

Ambos frascos llevan tres conducciones en el tapón de cierre: - una de salida, cuyo tubo llega al fondo para agotar el contenido, y que comunicando con la atmósfera alcanza una profundidad ligeramente inferior, constituyendo entre ambos un frasco de Mariotte, para tener un caudal constante de salida. La tercera conducción es un tubo corto que no alcanza la superficie del líquido, cuya misión es aumentar la presión sobre la superficie del líquido, soplando por un extremo.

En el tramo horizontal mas elevado de las conducciones, se encuentra una desviación en "T", con llave para eliminar burbujas, que perturbarían los flujos.

Los tubos de vidrio, de 0,5 cm, de diametro interior llegan a unos magistrales para la medida de caudales, por diferencia de presión entre las dos ramas de un manómetro de mercurio, originada por la pérdida de carga debida a la viscosidad, al atravesar un capilar, cuyo diametro se ha elegido por tanteo, para conseguir una diferencia de alturas en las ramas, cómoda de lectura en los caudales que se van a utilizar. Antes de los magistrales se encuentran sendas llaves reguladoras de la cantidad de líquido, y después de ellas, unas llaves de tres vias para extraer las burbujas de aire que accidentalmente se estacionen en los tramos horizontales de las conducciones.

La distancia de la cabeza de la columna a la base de los frascos-depósito es de 70 cm. y la altura total de ésta con cabeza y base de 71 cm. desde el soporte de agitación. Este, junto con el motor eléctrico, se apoya sobre una estructura metálica de perfiles angulares.

La columna de extracción de la casa Afora, con especificación de catálogo: V 10.720, con 30 mm. de diámetro interior y 44,5 de altura total (30 cm. útil), va cerrada con dos piezas de vi-

drio de la misma marca: la de cabeza (V 10.576/1), de 40 mm. de diámetro interior y 18,5 cm de altura total, ajustada a la columna mediante ajuste troncocónico. Está dotado de tubuladura central de 6 mm. en la dirección del eje del cilindro y soldado en la parte superior. Por dicho tubo entra la fase pesada (aguas - fenólicas).

La cabeza lleva además otra tubuladura perpendicular al eje de la columna, para salida del extracto.

Una segunda tubuladura paralela a la anterior, que no se encuentra originalmente en la pieza de la casa Afora, se soldó posteriormente, debido a que en las agitaciones con gran amplitud de agitación, a pesar de estar fija la cabeza a la columna con dos bridas de soporte de acero, el aire comprimido en la cabeza de la columna, forzada a desplazarse a la cabeza; una vez que se soldó el tubo, el aire se expansionaba libremente, se aseguraba el ajuste cabeza-columna y no se derramaba el líquido.

La base de la columna es igualmente pieza de catálogo (Afora V 10.576/3), con dimensiones: 40 mm. de diámetro interior y 18,5 de altura total, dotada de dos tubuladuras: una que penetra directamente y perpendicularmente a la pared y al llegar al eje - toma esta nueva dirección para la entrada de la fase ligera (benceno), otra en la parte opuesta y más baja, para la salida del refinado.

La base tiene en la parte inferior y soldada a ella una comunicación en tronco de cono que puede adaptarse al sistema de agitación. La base ajusta a la columna por enchufe semejante al de la cabeza, y ambos, se fijan con bridas de soporte, según hemos indicado. Todas las tubuladuras de entrada y salida están dotadas de olivas para asegurar las conexiones con los tubos de plástico, y en los tubos de vidrio se aseguraron con abrazaderas de tornillo, lo cual es muy importante, sobre todo al usar agitaciones fuertes, de lo contrario acaban deslizándose.

Para conseguir una distribución homogénea de los líquidos de entrada, las tubuladuras correspondientes llevan adaptada en sus extremos unas alcachofas de vidrio con perforaciones que permiten un buen reparto de líquidos.

El relleno de anillos de malla o Raschig, se mantiene gracias a un soporte de malla metálica de acero inoxidable, con luz de 4 mm., ligeramente inferior a las dimensiones de los anillos, permitiendo el paso de los líquidos con facilidad. La altura total del relleno es de 30 cm., y para conseguir una distribución com

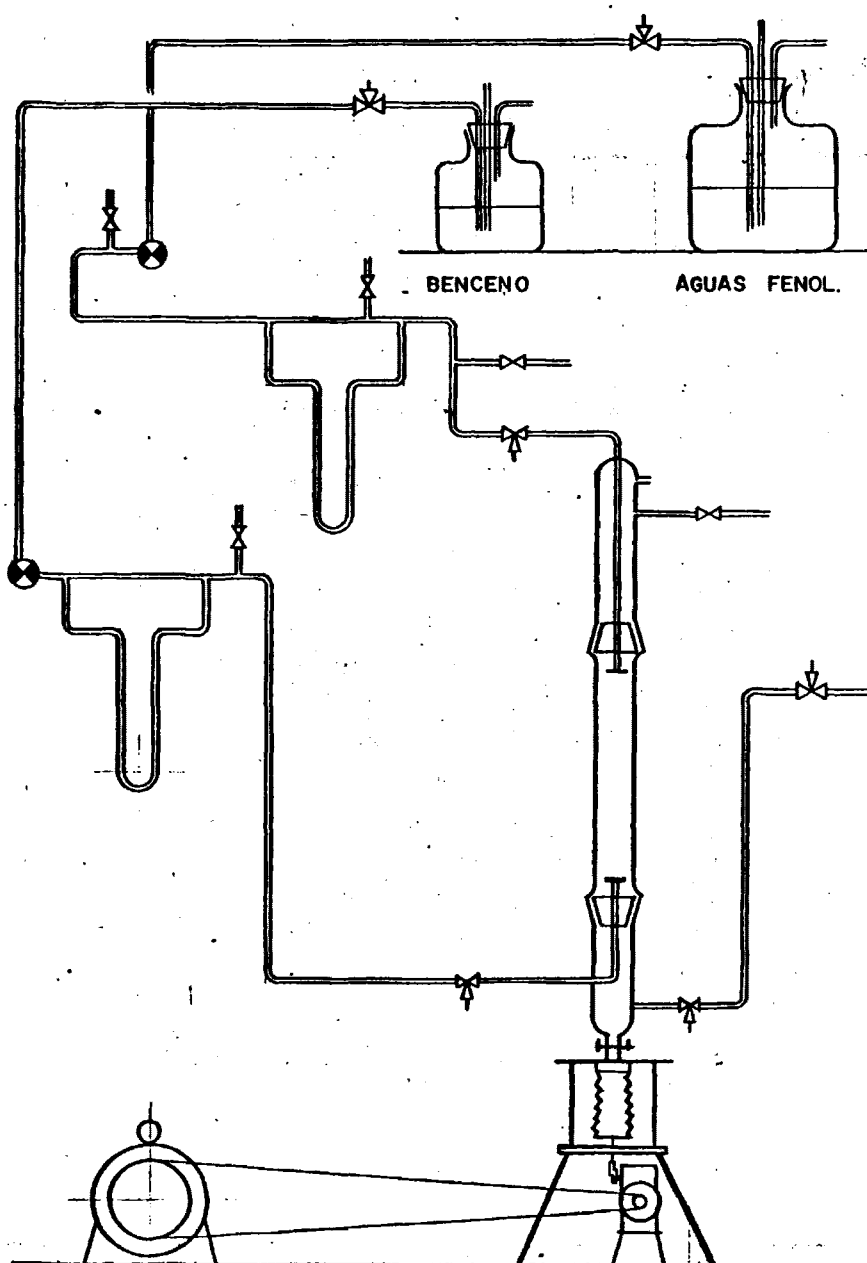


FIG. 1

INSTALACION EXPERIMENTAL

pacta y homogénea, se aplican los grados mayores de agitación - en frecuencia y amplitud, añadiendo más anillos hasta conseguir que queden inmóviles con la mayor oscilación, aprisionados por la alcachofa de la entrada superior.

Las salidas del refinado y del extracto llevan inmediatamente - sendas llaves de tres vías, para toma inmediata de muestras; la superior, a correspondiente a la fase ligera, vierte directamente en una probeta que mide en cada momento la cantidad de extracto; en esta no es necesario regular su salida, sino que resulta del balance de los flujos entrantes y el de salida del refinado que está previamente regulado, manteniendo constante la altura de separación de fases 1 ó 2 cm. sobre la tubuladura de salida inferior. Según este balance, el extracto es la cantidad que - rebosa sobre la parte superior de la columna como excedente.

El refinado sale por la parte (tubuladura) inferior de la base y después de pasar por una llave reguladora de caudal, atraviesa un magistral idéntico a los de entrada con un capilar de 0,5 mm. de diámetro interior, que no es rigurosamente necesario, ya que el control de flujo de salida del refinado puede hacerse observando la altura del nivel de separación de fases, como hemos indicado mediante la llave reguladora de salida y, termina en un tubo vertical de 1,20 m. de altura, necesario para conseguir una altura hidrostática suficiente para el caudal de desagüe requerido, y de tres milímetros de diámetro interior, para que no descargue ni entren burbujas de aire; llevan igualmente en la - sección horizontal una llave de tres vías, para eliminar burbujas.

Las juntas de los tubos del aparato son de tubo de polivinilo transparente y flexible, y de poliestireno rígido en las de las alcachofas de cabeza y base de la torre.

El sistema de agitación consta de un bastidor metálico, que lleva en la parte superior de 15,5 cm. de altura un fuelle de teflón ajustado rigidamente a la base superior y de expansión libre en su parte inferior; que acopla a la biela de un reductor de velocidades modelo A de la casa CRONO, con 1500 revoluciones de entrada y 90 de salida, y un juego de poleas con correas - trapezoidales, con 5 poleas de radios crecientes correspondientes a otras 5 del juego acoplado al motor.

El motor utilizado es de la General Electric Española, tipo 5 MC 45, de 1/6 CV, 1 fase, 50 ciclos, 1425 rev/min. a 120 vol. y 3,05 amp.

Los diámetros del canal interior de las poleas solitarias al eje del motor son:

- $D_1 = 6,4 \text{ cm.}$
- $D_2 = 7,6 \text{ cm.}$
- $D_3 = 8,5 \text{ cm.}$
- $D_4 = 9,1 \text{ cm.}$
- $D_5 = 9,8 \text{ cm.}$

Y los juegos correspondientes al reductor:

- $d_1 = 8,4 \text{ cm.}$
- $d_2 = 5,2 \text{ cm.}$
- $d_3 = 4,3 \text{ cm.}$
- $d_4 = 3,7 \text{ cm.}$
- $d_5 = 3,0 \text{ cm.}$

Cómo el motor es desplazable mediante canales ranurados en su base y la placa de apoyo lleva otros canales perpendiculares a los anteriores, ajustándose el motor a ella por tornillos y tuercas, son posibles los acoplamientos de cada una de las poleas del motor con todas las del otro, según el siguiente cuadro de combinaciones:

$D_1-d_1 = 88$	$D_2-d_1 = 102$	$D_3-d_1 = 110$	$D_4-d_1 = 115$	$D_5-d_1 = 124$
$D_1-d_2 = 105$	$D_2-d_2 = 120$	$D_3-d_2 = 131$	$D_4-d_2 = 138$	$D_5-d_2 = 146$
$D_1-d_3 = 119$	$D_2-d_3 = 138$	$D_3-d_3 = 150$	$D_4-d_3 = 156$	$D_5-d_3 = 166$
$D_1-d_4 = 131$	$D_2-d_4 = 152$	$D_3-d_4 = 166$	$D_4-d_4 = 174$	$D_5-d_4 = 186$
$D_1-d_5 = 149$	$D_2-d_5 = 172$	$D_3-d_5 = 188$	$D_4-d_5 = 198$	$D_5-d_5 = 208$

Las correas trapezoidales de transmisión son de las empleadas en los ventiladores de los motores de explosión, marca Pirelli. De toda la gama de pulsaciones se elegirán las siguientes:

- $F_1 = D_1-d_1 = 88 \text{ osc./min.}$
- $F_2 = D_2-d_2 = 120$
- $F_3 = D_3-d_3 = 150$
- $F_4 = D_4-d_4 = 174$
- $F_5 = D_5-d_5 = 208$

El reductor de velocidades lleva un plato con 7 orificios rosados a distintos radios a los que se puede mediante un tornillo

una biela, que termina en una especie de émbolo, desplazable dentro de un cilindro que le sirve de guía; con esto se transforma el movimiento circular en otro alternativo u oscilante. Este émbolo, mediante una barrita de 5 cm., se hace solidario del fondo del fuelle, siendo posibles las siguientes amplitudes de oscilación:

$$\begin{aligned} A_1 &= 0,25 \text{ cm.} \\ A_2 &= 0,75 \text{ " } \\ A_3 &= 1,25 \text{ " } \\ A_4 &= 1,80 \text{ " } \\ A_5 &= 2,30 \text{ " } \\ A_6 &= 2,80 \text{ " } \\ A_7 &= 3,25 \text{ " } \end{aligned}$$

El fuelle se mecanizó a torno, a partir de un tocho de teflón que es inerte a la acción de una gran parte de agentes químicos, en concreto el benceno y el fenol del sistema estudiado; las partes superior e inferior son cilíndricas, y la intermedia lleva 13 pliegues, cuyos diámetros máximos son de 4,5 cm. y mínimos de 3,5 cm., alcanzando en total una altura de 10 cm., - siendo posibles unas dilataciones y contracciones correspondientes a las amplitudes de la oscilación.

b) Relleno

Los rellenos de anillos malla son el punto clave de nuestra experimentación; para ella se han utilizado anillos de malla de acero inoxidable, cuyas características damos en la tabla nº 4.

Las dimensiones medias de los anillos son 6 mm. de diámetro por 6 mm. de altura, con un error de ± 1 mm.

TABLA Nº 4

Malla de acero inoxidable tipo 18/10

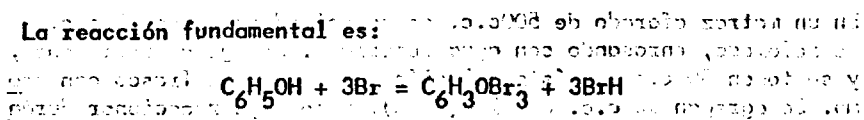
Nº S.A.E. UGI-NOS (Nº de hilos por pulgada francesa)	Diámetro hilo (mm)	Luz de malla (mm)	Nº de hilos por cm.
40	0,23	0,46	15,16
70	0,16	0,24	25,60
80	0,14	0,21	29,17
100	0,11	0,17	36,32
120	0,09	0,14	44,08

METODO DE ANALISIS

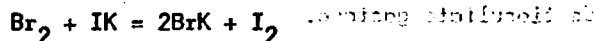
a) Método de Koppeschaar

Hemos determinado la concentración del fenol por el método de Koppeschaar (12), ligerante modificado por nosotros para evitar errores.

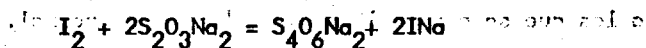
La reacción fundamental es:



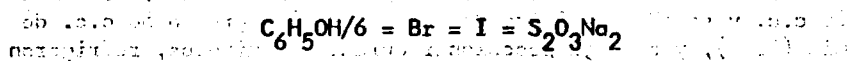
Como hay bromo en exceso (que se observa, porque permanece el color amarillo de la solución), se hace reaccionar con yoduro - potásico (en cantidad suficiente para que reaccione todo el bromo); formandose yodo según indica la reacción siguiente:



Este yodo formado se valora con tiosulfato (solución patrón tipo primario).



Las equivalencias según se observa en las reacciones, son:



b) Análisis de la alimentación.

En un frasco con tapón esmerilado de 1 litro de capacidad, se toman 225 cm³ de agua destilada a los que se añaden 10 c.c. de Br₂ 0,5 N.

En otro matraz aforado de 500 c.c. se echan 25 c.c. de alimentación, añadiendo agua destilada hasta enrasar. Se agita suficientemente, tomándose 25 c.c. de ésta solución para añadirlos al frasco esmerilado con bromo. Se agregan 50 c.c. de ClH (20 %) para que la reacción transcurra en medio ácido y evitar así la dismutación del bromo. Se deja reaccionar durante 45 minutos, refrigerando con agua fría.

Se añaden 25 c.c. de IK al 10% en peso y se deja reposar durante 5 minutos como mínimo. Transcurrido este tiempo, se valora el yodo formado con S₂O₃Na₂ (0,1 N), empleando como indicador solución de almidón, Sea V_a el volumen de tiosulfato gastado

c) Análisis del refinado

En otro frasco esmerilado análogo al anterior, se echan 200 c.c. de agua destilada, a los que se añaden 10 c.c. de bromo 0,5 normal.

En un matraz aforado de 500 c.c. de capacidad se echan 25 c.c. de refomado, enrasando con agua destilada. Se agita fuertemente, y se toman 50 c.c. de ésta solución y se añade al frasco con bromo. Se agregan 50 c.c. de ClH (20 %), y se deja reaccionar durante 45 minutos, refrigerando con agua fría. Se añaden 25 c.c. de IK (10 %), y transcurridos 5 minutos, se valora el yodo formado con tiosulfato sódico (0,1 normal), utilizando como indicador solución de almidón. Sea V_r el volumen de tiosulfato gastado.

d) Análisis del extracto.

En otro frasco esmerilado, se echan 200 c.c. de agua destilada a los que se añaden 10 c.c. de bromo 0,5 normal.

En un matraz aforado de 1000 c.c. se echan 10 c.c. de extracto, enrasando con agua destilada. Se agita biolentemente, se toman 50 c.c. y se añaden al frasco con bromo. Se agregan 50 c.c. de ClH (20 %), y se deja reaccionar durante 45 minutos, refrigerando con agua fría.

Añadimos 25 c.c. de IK (10 %), y transcurridos 5 minutos valoramos el yodo formado con tiosulfato. Sea V_e el volumen de tiosulfato gastado.

e) Análisis de la solución en blanco.

Debido a que con el tiempo varia la concentración de la solución de bromo, por la volatilidad de éste, hacemos ésta corrección, que nos permite calcular por diferencia la cantidad exacta de bromo que reacciona con el fenol. En otro frasco esmerilado, se echan 250 c.c. de agua destilada, a los que se añaden 10 c.c. de bromo 0,5 normal. Se añaden 50 c.c. de ClH (20 %), se agregan 25 c.c. de IK (10 %), y tras 5 minutos se valora el yodo formado con tiosulfato. Sea V_0 el volumen de tiosulfato gastado.

f) Cálculo de la concentración de fenol.

Alimentación:

$$(V_o - V_a)(500/25)(1000/25)(94/6)(1/1000) \cdot 0,1 = (V_o - V_a)1,255 \text{ gr./l.}$$

Refinado:

$$(V_o - V_r)(500/50)(1000/25)(94/6)(1/1000) \cdot 0,1 = (V_o - V_r)0,6275 \text{ gr/l.}$$

Extracto:

$$(V_o - V_e)(1000/50)(1000/10)(94/6)(1/1000) \cdot 0,1 = (V_o - V_e)3,14 \text{ gr/l.}$$

g) Reactivos

1) Solución de tiosulfato sódico 0,1 N. - Como contiene agua - de cristalización: $S_2O_3Na_2 \cdot 5H_2O$ (Peso molecular = 248,20), por litro de disolución contiene 24,82 gr de tiosulfato pentahidratado. Esta disolución se guarda en frasco de topacio de 4 litros de capacidad.

2) Solución de bromo 0,5 N (aprox.).- El bromo se recibe puro en ampollas de 7 gramos (Peso atómico = 79,916, Densidad = 3,119). Se hacen reventar 10 ampollas de 1730 c.c. de agua - destilada, por lo que resulta una solución 0,5 N, si bien debe considerarse que disminuye con el tiempo la normalidad, debido a la volatilidad del bromo. La disolución se guarda en frasco de topacio de 4 litros de capacidad. El manejo del bromo debe de ser extremadamente cuidadoso, porque su toxicidad es muy elevada; el M.A.C. (máxima concentración admisible en el aire) es 0,1 partes por millón. Debe trabajarse por ello en vitrina.

3) Solución de yoduro potásico (10%).- Esta disolución es 0,6 N aproximadamente, lográndose que con 25.c.c. se ataque a todo el bromo que pudiera haber (10 c.c. como máximo). La solución se guarda en frasco de topacio de 4 litros de capacidad.

4) Solución de ClH (20 % aprox.) - También se tiene en frasco de topacio de 4 litros de capacidad, y el objetivo de su empleo es que la reacción se realice en medio ácido, para evitar la dismutación del bromo:



5) Solución de almidón - Se prepara disolviendo 2 gramos de almidón por litro de agua destilada. Para facilitar la solubili-

dad se hace en agua caliente. También se añade muy pequeña cantidad de I_2 para evitar la reproducción de bacterias que pudiera haber en el aire o en el agua.

$$f_1(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-x^2} \quad f_2(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-x^2} \quad f_3(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-x^2}$$

:obn10.1

$$(V_0 - V_{\infty}) \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{6} \right) = (V_0 - V_{\infty}) \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{6} \right) = (V_0 - V_{\infty}) \left(\frac{1}{3} \right)$$

:0†wI†:

$$\Delta x_{ij} = 1, 0 \left(\frac{1}{2} - v \right) = 1, 0, (000101)(0101)(010001)(010001) \left(\frac{1}{2} - v \right)$$

sovietov (n

[illegible]

(1) Solución de bromo 0,5% (peso/volumen). - El bromo se resque para en carbolos de 7 gramos (Peso atómico = 79,906, densidad = 3,110). Se hacen reaccionar 10 carbolos de 170 cc. de agua destilada, por lo que resulta una solución 0,5% de el mismo debido a la volatilidad del bromo. La disolución se guarda en frasco de taponado de 4 litros de capacidad. El manejo del bromo debe ser extremadamente cuidadoso, porque es tóxico y muy peligoso; el M.A.C. (máxima concentración admisible en el aire) es 0,1 partes por millón. Los trabajadores por ellos en un ambiente

(5) Solución de yoduro potásico (10%) - Esta disolución es 0.01% aproximadamente, lo mismo que con 0.01% de yoduro de potasio (10%) como reactivos. La solución se divide en frascos de 1 litro de capacidad.

La Comisión de la Verdad y la Reconciliación (CVR) es una institución independiente que tiene como objetivo investigar y esclarecer los hechos de la violencia política que se desarrolló en el Perú entre 1980 y 2000. La CVR fue creada por el Congreso de la República en el año 2002, con el fin de promover la reconciliación nacional y la justicia para las víctimas.

$$(contribution\ oil\ to\ no) \quad -_{1}Oil + -_{2}Oil = -_{3}Oil$$

(B) Solución de elección - la primera "elección" es el

PROGRAMA EXPERIMENTAL

a) Relación de caudales constante

Una vez instalado el aparato descrito, se procede al calibrado - de magistrales (tabla nº 5 y gráficos 6 y 7)

Para comparar la eficacia de los anillos Raschig con los anillos de malla, se trabaja con relación de caudales constante:

Aguas fenólicas : 35,3 c.c./min.

Benceno : 11,75 c.c./min.

La relación de caudales es por tanto 3, que corresponde a las alturas manométricas siguientes:

Aguas fenólicas : $H_1 = 55$ mm Hg

Benceno : $H_2 = 32$ mm Hg

Recurriendo a la gráfica nº 3, el correspondiente coeficiente de reparto es 3,3.

Una vez fijadas las variables de agitación (amplitud y frecuencia) y establecido el régimen de caudales de entrada y salida, se deja fluir hasta alcanzar un régimen estacionario, el cual se consigue al cabo de 45 minutos (previamente a la experimentación se han hecho ensayos que nos permite fijar ese tiempo).

A pesar de la pulsación se observa la constancia de flujos, ya que la diferencia de alturas de las columnas de mercurio oscilan ligeramente al transmitirse la pulsación.

En las agitaciones intensas, las fases se mezclan casi hasta formar emulsión (no hay separación de fases), y especialmente en el refinado se arrastra algo de la fase ligera. Para evitarlo, se cierran las salidas de refinado y extracto, aunque los flujos de entrada continúan fluyendo hasta que se llena la cabeza de la columna. Aquí se cierran las dos entradas y se deja decantar, primero - el extracto, hasta alcanzar el nivel de su tubuladura de salida y a continuación el refinado, hasta que la superficie de separación de fases esté ligeramente sobre la tubuladura de salida. Con esta modificación de la operación, el proceso puede considerarse continuo, ya que la decantación es muy rápida.

TABLA Nº 5

CALIBRADO DE LOS CAPILARES

BENCENO

h (mm)	Caudal (c.c./min.)
30	11,10
34	12,6
38	13,8
26	9,5
23	8,5
42	15,2

AGUAS FENOLICAS

h (mm.Hg)	Caudal (c.c./min.)
38	27,2
42	29,3
46	31,7
50	33,1
54	34,7
58	36,5
64	38,5

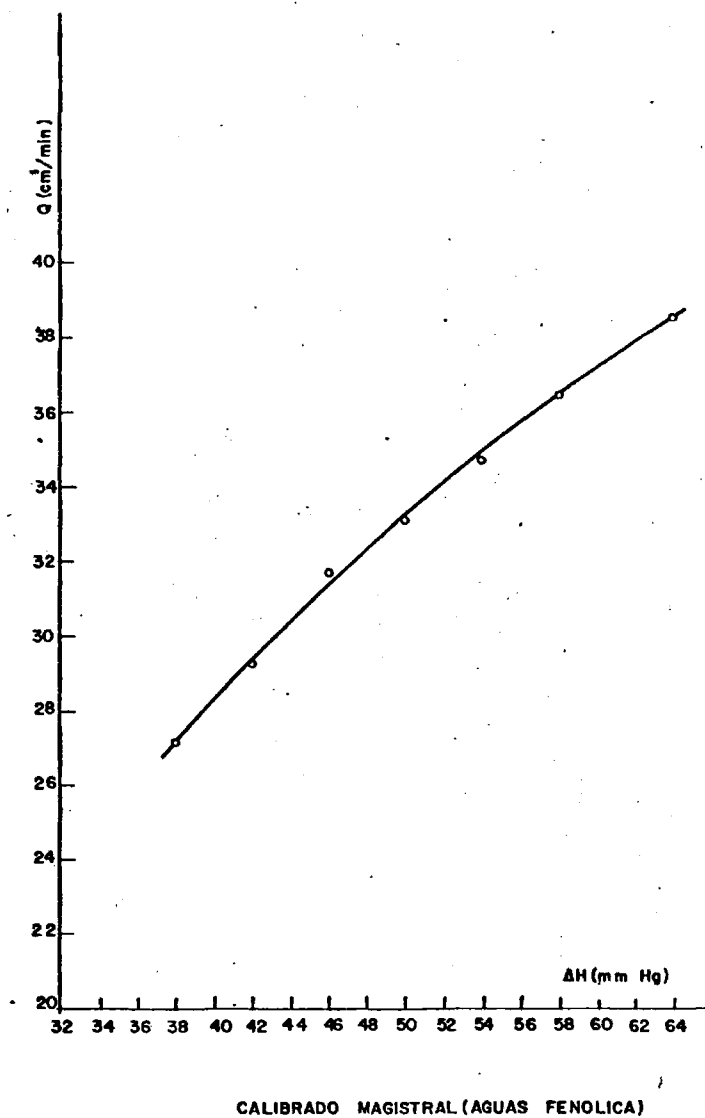
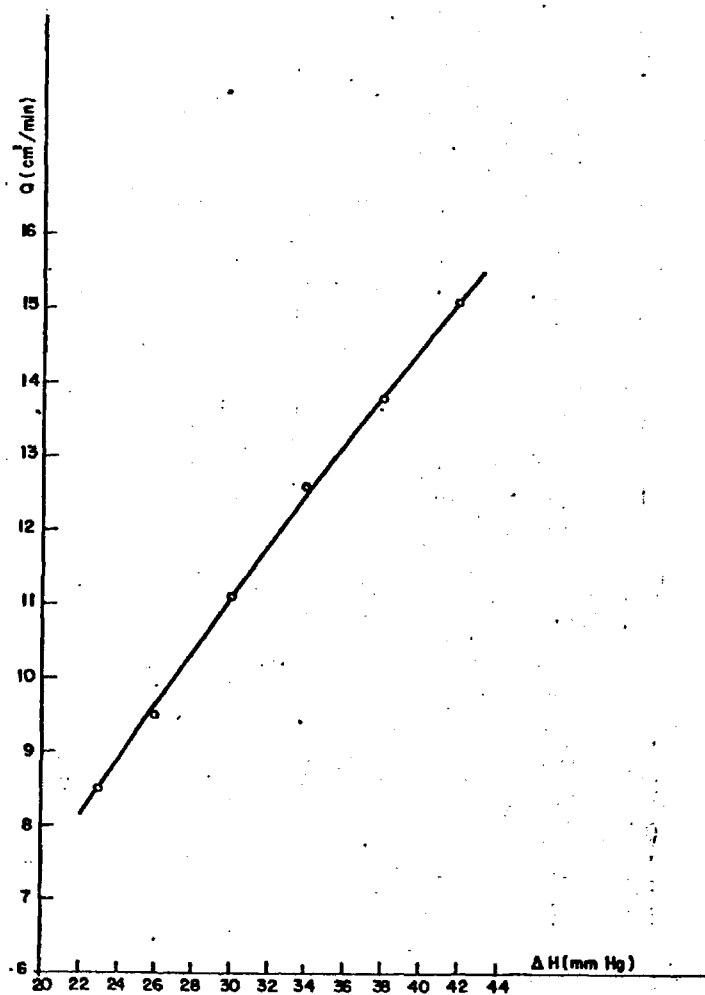


FIGURA 6



CALIBRADO MAGISTRAL (BENCENO)

FIGURA 7

El tiempo que tarda en conseguirse un régimen constante varia de unas condiciones a otras, pues pasar de una frecuencia a la superior, supone poca modificación y permite alcanzar el nuevo estado con bastante rapidez, ya que es aproximadamente el mismo gradiente de concentraciones a lo largo de la columna. Pero pasar a una nueva amplitud, o interrumpir hasta el día siguiente, supone una homogeneización de la torre, exigiendo más tiempo el establecimiento del nuevo régimen de concentraciones. Para poder establecer cuando se ha conseguido el régimen, se miden índices de refracción del extracto y del refinado, hasta que sean constantes.

Se ha observado en las diferentes mallas, distintos tamaños de gotas y también diversa velocidad de caída, según las condiciones de agitación; cuando ésta es suave, se pueden observar las gotículas de la fase dispersa oscilando ligeramente de arriba abajo durante mucho tiempo, y en cambio en agitaciones fuertes caen con mayor velocidad.

Cada análisis, una vez puesta la columna a régimen, se han realizado por lo menos tres veces, llevando a cabo hasta seis operaciones en las mismas condiciones, si en alguna ocasión, los resultados no eran prácticamente reproducibles. Con todo ello, hemos adquirido la práctica suficiente para evitar errores y sacar conclusiones previas.

b) Variación de la relación de caudales

También vamos a estudiar la influencia de la variación de relación de caudales utilizando como relleno la malla óptima, o sea, S.A.E. 80 ($L = 0,21$ mm)

Como ya se ha indicado anteriormente, para hallar las concentraciones de la alimentación y del refinado en el equilibrio, es necesario conocer el coeficiente de reparto, y este variará al utilizarse distintas relaciones de caudales.

La elección de las relaciones de caudales, se pueden hacer según dos posibilidades:

1º. Fijando un punto de diagrama triangular Agua-Benceno-Fenol, - que caiga sobre una de las rectas de reparto, y a partir de la composición de dicho punto hallar la relación de caudales que le corresponde.

2º. Elegir a priori una relación de caudales y representar el punto correspondiente en el diagrama ternario.

La primera posibilidad tiene el inconveniente de que la relación de caudales que determine la elección del punto, no sea factible de llevarla a la práctica, o bien, aunque se pueda, lo sea cometiendo gran error (si sale una relación de caudales alta, por ejemplo, puede ser que, o bien sea el caudal de benceno muy bajo, y se cometa gran error en la lectura manométrica, o bien pueda ser el caudal de aguas fenólicas muy alto, y no pueda conseguirse porque el capilar no permita el paso de dicho caudal). Por otra parte, solo podemos utilizar puntos situados sobre una de las rectas de reparto halladas experimentalmente, lo que supondría variar la composición de las aguas fenólicas, con lo que habría que calibrar de nueva el capilar de las aguas fenólicas al variar la densidad, caída de presión, etc., de la nueva disolución.

Se ha seguido el segundo procedimiento, es decir fijar a priori los caudales convenientes, llevando los puntos representativos al diagrama ternario, e interpolando las rectas de reparto, para obtener las correspondientes a las distintas relaciones de caudales. Este procedimiento tiene como inconveniente los errores cometidos en la interpolación gráfica, pero siempre menores que si se utilizase el primer procedimiento.

La interpolación se ha hecho gráficamente, como se ha indicado anteriormente.

La composición centesimal en peso de la mezcla ternaria correspondiente a los distintos caudales de aguas fenólicas y benceno utilizados, es la siguiente:

1º Caudal de aguas fenólicas = 35,2 c.c./min.

Caudal de benceno = 7,5 c.c./min.

Tomando como base de cálculo 1 minuto, y como densidades del fenol y del benceno 1,07 y 0,88 grs/c.c. respectivamente:

20 grs., de fenol = 18,69 c.c. de fenol

En 1.000 c.c. de disolución hay 18,69 c.c. de fenol y 961,31 c.c. de agua, luego en 35,2 c.c. habra 34,49 c.c. de agua y 0,71 c.c. de fenol. Luego:

Composición en peso	Agua = 34,49 gramos
	Fenol = $0,71 \cdot 1,07 = 0,75$ grs.
	Benceno = $7,5 \cdot 0,88 = 6,60$ grs.
Composición centesimal	Agua = 82,4 %
	Fenol = 1,8 %
	Benceno = 15,8 %

2º Caudal de aguas fenólicas = 35,2 c.c./min.
Caudal de benceno = 11,2 "

Composición centesimal	Agua = 76,5 %
	Fenol = 1,65 %
	Benceno = 21,85 %

3º Caudal de aguas fenólicas = 30,8 c.c./min.
Caudal de benceno = 14,5 "

Composición centesimal	Agua = 69,0 %
	Fenol = 1,4 %
	Benceno = 29,6 %

4º Caudal de aguas fenólicas = 15,15 c.c./min.
Caudal de benceno = 14,5 "

Composición centesimal	Agua = 53,2 %
	Fenol = 1,1 %
	Benceno = 45,7 %

Llevando estos puntos al diagrama ternario, y haciendo la interpolación, se han obtenido los coeficientes de reparto siguientes:

1º Coeficiente de reparto = $\frac{4,76}{1,43} = 3,3$

2º Coeficiente de reparto = $\frac{3,5}{1,3} = 2,9$

3º Coeficiente de reparto = $\frac{2,5}{1,1} = 2,3$

4º Coeficiente de reparto = $\frac{1,7}{0,9} = 1,9$

A cada relación de caudales le corresponden las siguientes alturas manométricas:

Relac. de caudales 4,69	H ₁	Aguas fenólicas = 55 mm. Hg
	H ₂	Benceno = 20 mm. Hg

Relac. de caudales 3,14

H ₁	Aguas fenólicas	=	55 mm Hg
H ₂	Benceno	=	30 mm Hg

Relac. de caudales 2,12

H ₁	Aguas fenólicas	=	45 mm Hg
H ₂	Benceno	=	40 mm Hg

Reloc. de caudales 1,04

H ₁	Aguas fenólicas	=	30 mm Hg
H ₂	Benceno	=	40 mm Hg

A continuación se procede a la experimentación como se indicó en el apartado anterior.

En la tabla siguiente se indican los resultados obtenidos en la experimentación.

$$K_1 = \frac{P_1}{Q_1} = \text{coeficiente de reparto}$$

$$K_2 = \frac{P_2}{Q_2} = \text{coeficiente de reparto}$$

$$K_3 = \frac{P_3}{Q_3} = \text{coeficiente de reparto}$$

$$K_4 = \frac{P_4}{Q_4} = \text{coeficiente de reparto}$$

En la tabla siguiente se indican los resultados obtenidos en la experimentación.

En la tabla siguiente se indican los resultados obtenidos en la experimentación.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación se recogen en las tablas 6 a 10, los valores obtenidos experimentalmente en todas y cada una de las extracciones realizadas con anillos Raschig y con cada malla (permaneciendo constante la relación de caudales), y en ellas se ordenan para cada amplitud todas las frecuencias de pulsación, con los valores de los análisis efectuados.

Los resultados experimentales correspondientes a la variación de caudales se encuentran reflejados en las tablas 11 a 14 ambas inclusive.

TABLA Nº. 6

ANILLOS RASCHIG

RELACION DE CAUDALES = 3

Amplitud	Frecuencia	Vo	Va	Vr	Ve
A1	F1	36,5	20,6	19,2	27,5
	F2	33,5	17,2	16,9	24,0
	F3	34,7	18,7	19,2	25,1
	F4	34,2	18,1	18,6	24,3
	F5	34,8	18,8	18,8	25,2
A2	F1	36,0	19,8	21,0	25,8
	F2	38,1	22,0	23,6	27,5
	F3	37,7	21,5	23,9	26,6
	F4	35,9	19,8	21,7	25,2
	F5	37,9	21,7	23,5	27,3
A3	F1	35,4	19,6	20,1	25,6
	F2	35,1	19,3	20,3	25,0
	F3	38,0	21,9	23,8	27,2
	F4	33,8	17,6	19,4	23,2
	F5	36,2	20,0	21,5	25,6
A4	F1	38,3	22,2	22,2	28,7
	F2	38,5	22,4	23,0	28,5
	F3	30,2	14,0	15,6	19,5
	F4	35,8	20,2	21,1	25,9
	F5	33,4	17,4	18,3	23,3
A5	F1	38,2	21,6	21,5	28,3
	F2	35,6	19,5	19,8	25,8
	F3	35,4	19,2	20,4	25,2
	F4	33,2	17,2	17,8	23,3
	F5	34,9	19,1	19,2	25,1
A6	F1	35,2	19,2	18,0	26,4
	F2	36,3	20,1	19,8	26,7
	F3	35,1	19,0	19,3	25,3
	F4	36,1	20,2	19,8	26,8
A7	F1	35,6	19,9	17,8	27,4
	F2	34,4	18,5	16,8	25,9
	F3	34,2	18,2	17,0	25,4

TABLA Nº. 7

MALLA S.A.E. 70

RELACION DE CAUDALES = 3

Amplitud	Frecuencia	Vo	Va	Vr	Ve
A1	F1	35,2	19,2	18,0	26,4
	F2	35,0	19,0	19,2	25,2
	F3	34,8	18,7	20,6	24,0
	F4	36,0	19,8	21,3	25,4
	F5	35,4	19,4	20,3	25,3
A2	F1	30,3	14,2	17,0	19,0
	F2	30,2	14,4	17,3	18,9
	F3	33,1	17,1	21,1	21,1
	F4	33,8	17,8	21,5	22,0
	F5	32,7	16,8	19,9	21,3
A3	F1	36,5	20,4	22,1	25,8
	F2	34,4	18,4	20,7	23,4
	F3	33,8	17,9	21,0	22,4
	F4	32,5	16,4	19,2	19,2
	F5	35,6	19,5	22,1	24,4
A4	F1	33,9	17,9	18,8	23,8
	F2	33,8	17,6	19,4	23,2
	F3	33,2	17,4	20,0	22,5
	F4	32,7	16,9	19,0	22,0
	F5	35,0	19,2	20,8	24,8
A5	F1	33,7	17,7	18,2	24,1
	F2	32,2	16,0	17,5	21,6
	F3	34,9	19,0	21,3	24,0
	F4	31,9	15,9	17,9	21,1
	F5	31,9	15,7	17,5	21,3
A6	F1	38,0	21,9	21,9	28,4
	F2	36,7	20,7	21,2	27,1
	F3	35,1	21,0	22,6	26,5
	F4	38,0	22,2	23,1	28,0
A7	F1	31,5	15,4	14,6	22,3
	F2	30,8	14,8	14,4	21,4
	F3	32,6	16,7	17,0	22,9

TABLA Nº. 8

MALLA S.A.E. 80

RELACION DE CAUDALES = 3

Amplitud	Frecuencia	Vo	Va	Vr	Ve
A1	F1	35,1	18,9	18,6	25,6
	F2	35,4	19,6	20,1	25,6
	F3	33,1	16,9	19,3	22,0
	F4	33,5	17,7	19,2	23,2
	F5	35,1	19,3	20,3	25,0
A2	F1	30,0	14,0	17,1	18,6
	F2	30,5	14,5	18,2	18,7
	F3	33,8	18,0	22,5	21,6
	F4	33,5	17,5	21,9	21,3
	F5	33,1	17,1	21,1	21,1
A3	F1	35,0	19,2	21,0	24,7
	F2	30,1	14,3	16,9	19,1
	F3	33,8	17,8	21,5	22,0
	F4	32,7	16,8	19,9	21,3
	F5	30,2	14,4	17,3	18,9
A4	F1	33,5	17,6	18,9	23,7
	F2	30,0	13,8	16,2	18,9
	F3	33,8	17,9	21,0	22,4
	F4	31,7	15,7	18,5	20,4
	F5	33,0	17,1	19,4	22,1
A5	F1	34,4	18,4	19,3	24,3
	F2	35,0	19,2	20,8	24,8
	F3	33,3	17,3	20,1	22,0
	F4	33,3	17,4	19,7	22,4
	F5	32,2	16,1	18,2	21,5
A6	F1	34,1	18,0	18,5	24,2
	F2	33,6	17,4	18,8	23,0
	F3	30,9	15,0	17,0	20,2
	F4	30,0	14,1	15,7	19,5
A7	F1	32,3	16,5	15,9	23,3
	F2	32,6	16,7	17,0	22,9
	F3	31,8	16,0	17,0	21,7

TABLA Nº. 9

MALLA S.A.E. 100

RELACION DE CAUDALES = 3

Amplitud	Frecuencia	Vo	Va	Vr	Ve
A1	F1	34,0	17,5	16,8	24,5
	F2	37,1	21,0	21,0	27,5
	F3	30,2	14,0	15,6	19,5
	F4	32,0	15,8	17,0	21,8
	F5	34,0	18,0	18,5	24,4
A2	F1	34,2	18,3	20,6	23,3
	F2	33,7	17,9	20,5	23,0
	F3	29,4	13,4	17,1	17,6
	F4	29,2	13,4	16,2	18,1
	F5	32,3	16,6	19,2	21,3
A3	F1	33,3	17,8	18,7	23,5
	F2	35,6	20,0	21,6	25,3
	F3	30,3	14,2	17,0	19,0
	F4	30,3	14,4	16,7	19,4
	F5	27,5	15,7	13,7	16,9
A4	F1	33,0	17,0	17,5	23,4
	F2	33,2	17,0	18,4	22,6
	F3	29,2	13,3	15,4	18,4
	F4	29,1	13,2	15,1	18,4
	F5	31,8	15,9	17,5	21,3
A5	F1	38,0	21,9	21,9	28,4
	F2	33,4	17,4	18,3	23,3
	F3	31,9	15,9	17,9	21,1
	F4	31,8	15,7	17,6	21,0
	F5	30,2	14,0	15,6	19,5
A6	F1	38,0	22,0	21,3	28,8
	F2	36,8	20,8	21,0	27,1
	F3	36,0	19,8	21,0	25,8
	F4	33,2	17,2	17,8	23,3
A7	F1	35,0	19,1	17,4	26,5
	F2	32,5	16,5	15,6	23,4
	F3	31,8	15,8	15,4	22,4

TABLA Nº. 10

MALLA S.A.E. 120

RELACION DE CAUDALES = 3

Amplitud	Frecuencia	Vo	Va	Vr	Ve
A1	F1	35,0	19,0	17,8	26,2
	F2	35,0	19,1	18,6	25,5
	F3	35,0	18,8	20,0	24,8
	F4	35,2	19,4	21,9	25,4
	F5	33,5	17,6	17,7	23,9
A2	F1	37,4	21,2	23,0	26,8
	F2	32,4	16,4	18,7	21,4
	F3	32,2	16,2	19,3	20,8
	F4	31,3	15,2	18,0	20,0
	F5	22,9	17,0	19,3	22,0
A3	F1	38,0	22,2	23,1	28,0
	F2	37,8	21,6	23,4	27,2
	F3	37,4	21,4	23,7	26,4
	F4	35,6	20,0	21,6	25,3
	F5	31,8	15,9	17,5	21,3
A4	F1	33,2	17,3	17,4	23,6
	F2	33,1	17,1	18,0	23,0
	F3	35,8	20,2	21,6	25,6
	F4	34,9	18,7	20,5	24,3
	F5	38,0	22,2	23,1	28,0
A5	F1	36,0	19,8	19,5	26,4
	F2	35,5	19,4	20,0	25,5
	F3	34,5	18,6	19,9	24,7
	F4	34,0	17,8	19,0	23,8
	F5	33,2	17,2	17,8	23,3
A6	F1	33,2	16,7	16,0	23,7
	F2	34,1	18,2	17,8	24,8
	F3	34,1	18,2	18,5	24,4
	F4	34,3	18,2	18,2	24,7
A7	F1	33,6	17,9	15,8	25,4
	F2	33,5	17,6	16,2	24,5
	F3	34,2	17,9	17,4	24,7

TABLA Nº. 11

RELACION DE CAUDALES 4,69

MALLA S.A.E. 80

Amplitud	Frecuencia	Vo	Va	Vr	Ve
A1	F1	29,5	13,5	10,5	19,0
	F2	29,5	13,5	11,0	17,5
	F3	29,0	12,0	11,0	16,0
	F4	31,0	13,0	12,5	18,0
	F5	31,0	13,5	12,0	18,0
A2	F1	30,0	13,0	12,5	13,5
	F2	30,0	16,0	14,3	14,8
	F3	29,0	14,0	13,0	16,7
	F4	29,0	13,0	13,0	16,0
	F5	29,0	13,0	12,0	17,0
A3	F1	29,5	12,5	11,5	16,5
	F2	30,0	13,0	12,5	13,5
	F3	30,0	15,9	14,0	14,9
	F4	30,5	12,5	10,0	15,0
	F5	31,0	13,0	13,0	16,0
A4	F1	30,0	12,0	11,5	17,0
	F2	30,5	13,0	11,0	17,0
	F3	30,5	13,5	13,0	14,0
	F4	30,0	13,5	12,0	14,0
	F5	30,0	13,0	12,0	17,0

TABLA Nº 12

RELACION DE CAUDALES 3,14

MALLA S.A.E. 80

Amplitud	Frecuencia	Vo	Va	Vr	Ve
A1	F1	29,5	13,5	12,5	17,5
	F2	28,5	13,5	12,5	16,2
	F3	28,0	13,0	13,5	15,0
	F4	30,5	13,0	13,0	17,5
	F5	30,0	16,0	14,3	14,8
A2	F1	29,5	13,0	15,0	15,0
	F2	28,0	14,0	15,0	20,0
	F3	32,0	15,3	19,2	19,2
	F4	32,0	15,4	19,2	19,5
	F5	31,0	13,0	15,5	18,0
A3	F1	32,5	17,0	17,7	16,5
	F2	26,5	12,0	12,5	15,5
	F3	30,0	12,0	14,5	17,0
	F4	30,5	13,0	14,5	18,0
	F5	32,2	16,7	17,8	16,8
A4	F1	30,0	15,8	14,6	14,3
	F2	30,0	14,5	15,2	14,5
	F3	30,0	12,5	14,0	17,5
	F4	30,0	13,5	15,5	15,5
	F5	29,0	14,0	14,5	16,0

TABLA Nº. 13

RELACION DE CAUDALES 2,12

MALLA S.A.E. 80

Amplitud	Frecuencia	Vo	Va	Vr	Ve
A1	F1	30,0	15,8	14,6	14,3
	F2	29,5	14,5	15,0	16,5
	F3	30,0	13,3	17,2	17,2
	F4	29,5	12,0	13,5	17,0
	F5	31,0	13,0	14,0	17,5
A2	F1	31,8	15,2	19,9	18,6
	F2	29,5	14,0	18,9	16,3
	F3	31,0	14,0	16,5	16,0
	F4	29,5	13,8	19,0	16,0
	F5	30,5	13,0	17,0	19,5
A3	F1	29,5	15,5	16,5	21,5
	F2	29,5	12,8	16,7	16,7
	F3	31,0	13,5	15,5	16,0
	F4	27,5	12,0	16,0	14,0
	F5	31,0	14,4	19,1	17,8
A4	F1	29,5	12,0	13,5	17,0
	F2	30,0	13,4	17,2	17,5
	F3	31,8	15,1	20,2	18,3
	F4	30,0	13,4	18,1	16,8
	F5	29,5	12,9	16,7	17,0

TABLA Nº. 14

RELACION DE CAUDALES 1,04

MALLA S.A.E. 80

Amplitud	Frecuencia	Vo	Va	Vr	Ve
A1	F1	30,2	14,6	15,8	15,2
	F2	31,0	13,5	15,0	18,5
	F3	30,5	12,5	15,0	16,0
	F4	30,0	13,3	17,2	17,2
	F5	30,5	12,5	15,0	17,5
A2	F1	29,5	14,0	18,9	16,3
	F2	29,0	14,0	17,0	15,5
	F3	29,8	14,1	21,2	20,2
	F4	29,8	14,0	20,7	20,2
	F5	30,5	15,5	18,5	17,0
A3	F1	29,8	13,2	17,9	16,6
	F2	29,5	13,5	17,5	14,0
	F3	29,4	14,0	19,2	15,7
	F4	29,5	14,0	18,9	16,3
	F5	30,0	12,5	16,5	19,0
A4	F1	30,0	13,3	17,2	17,2
	F2	29,8	13,1	18,2	16,3
	F3	29,5	13,8	19,0	16,0
	F4	31,0	13,5	17,5	20,0
	F5	31,0	14,3	19,4	17,5

CALCULO DE LA EFICACIA

La capacidad de extracción de una columna de relleno se puede evaluar como la de sus análogas de absorción y destilación, calculando el número de contactos ideales o estadios necesarios para realizar una extracción entre los límites que opera una columna de platos, o cualquier otro artificio que produzca la extracción en pasos independientes, con agitación y decantación en cada uno de ellos.

La altura de la columna continua con relleno equivalente a un estadio teórico, se denomina tradicionalmente H.E.T.P. (Height equivalent to a theoretical plate) o H.E.T.S. (or stage) y realizará una extracción igual.

Del número de estadios teóricos "n", necesario para llevar a cabo una extracción, que se determina por cálculo y la altura H.E.T.P., conocida experimentalmente, nos dará la altura total de la torre la expresión:

$$H = n. (H.E.T.P.)$$

o número de platos teóricos por la altura de cada uno.

Este método puede criticarse como incorrecto, tanto en la extracción como en otras operaciones de ingeniería: rectificación, absorción... por equiparar un proceso con cambios discontinuos a otra operación con variación continua de concentraciones. Resulta que la H.E.T.P. varía notablemente con las condiciones de la operación: tipo de sistema, caudales, concentraciones, rellenos ..., siendo necesario para el diseño de una columna conocer todos los datos específicos del H.E.T.P.

Partiendo de las concentraciones de fenol obtenidas en los sucesivos extractos y refinados, se puede calcular el número de platos teóricos de la columna empleada para cada una de las amplitudes y frecuencia de oscilación.

Para un sistema en contracorriente, en contacto múltiple con disolventes miscibles, se puede establecer el balance del componente a extraer

$$F x_0 + E_2 y_2 = R_1 x_1 + E_1 y_1$$

$$R_{n-1} x_{n-1} + E_{n+1} y_{n+1} = R_n x_n + E_n y_n$$

siendo:

F : Alimentación

E : Extracto

R : Refinado

x e y : Concentración de fenol en los refinados y extractos correspondientes, de cada estadio.

Transponiendo terminos

$$F x_0 - E_1 y_1 = R_1 x_1 - E_2 y_2 = \dots = R_n x_n - E_{n+1} y_{n+1}$$

lo que indica que si se unen los puntos representativos, de x_0 e y_0 , x_1 e y_1 ... según las propiedades del diagrama triangular, todas las rectas se cortan en un punto que se denomina "punto de operación", y queda definido a partir de las concentraciones de fenol en el extracto y refinado de cada operación y los correspondientes a la alimentación y el disolvente:

$$y_1 - x_0, x_n - y_{n+1} \quad (y_s)$$

Determinado el punto de operación, por y_1 se traza la recta de reparto correspondiente que determina x_1 . Una nueva recta del punto de operación a x_1 determina y_2 en la otra rama de la curva binodal, repitiéndose el proceso el número de veces que sea necesario hasta que la composición del refinado de una recta de reparto sea igual o menor que x_n . El número de estadios teóricos es igual al de rectas de reparto que se han trazado, más la parte proporcional de la última al cortar a la recta $y_s - x_n$.

Se puede recurrir a otro procedimiento gráfico basado en el diagrama de distribución. Como las composiciones que salen de los contactos ideales están en equilibrio, los puntos representativos de todos ellos están en la curva de equilibrio. Los puntos correspondientes a la línea de operación, se obtienen a partir del diagrama triangular, de las intersecciones de las rectas que pasan por el punto de operación obtenido en el método anterior, con las dos ramas de la curva binodal.

Trazadas las líneas de equilibrio y de operación, el número de platos teóricos se halla construyendo la poligonal escalonada de horizontales y verticales a partir de x_0 , o concentración de la alimentación, siendo el número de escalones igual al de platos teóricos, y si el último no es completo, se toma la parte proporcional correspondiente.

Las deficiencias de estos métodos, señaladas anteriormente se superan en parte con el procedimiento que se explica a continuación y que es algo más complicado: la UNIDAD DE TRANSFERENCIA.

Resumiendo la teoría de la difusión para aplicarlo a nuestro caso de Treybal (13) y Perry (14), si N es el número de moles de soluto transferidos por unidad de tiempo y superficie, la velocidad de transferencia es una sección dA

$$dN = d(Rx) = k \cdot c_m \cdot dA = k \cdot c_m (x - x_i) \cdot dA$$

siendo: R flujo de refinado (moles/min.lt.)

x concentración molar de soluto

x_i concentración del soluto en la interfase

k coeficiente de transferencia del soluto

c_m concentración media (mol. gr./lt.)

El flujo de refinado R varia a lo largo de la columna, pero prescindiendo del soluto, es aproximadamente constante, $R(1-x)$, diferenciando

$$d \left(R \left(1-x \right) \frac{x}{(1-x)} \right) = R (1-x) d \frac{x}{1-x} = R (1-x) \frac{(1-x)dx - x(-dx)}{(1-x)^2} =$$

$$= R \frac{dx}{1-x}$$

$$d(Rx) = R (1-x) \cdot d \left(\frac{x}{1-x} \right) = \frac{R dx}{1-x}$$

Como $k \cdot (1-x)_m$ es mas constante que el coeficiente k , y además $dA = a \cdot dH$, siendo H la altura de la columna

$$\frac{(1-x)_{im} \cdot R \cdot dx}{(1-x)} = k \cdot (1-x)_{im} \cdot c_m \cdot (x - x_i) \cdot a \cdot dH$$

$$\frac{(1-x)_{im} \cdot dx}{(1-x) (x - x_i)} = \frac{k \cdot (1-x)_{im} \cdot c_m \cdot a \cdot dH}{R}$$

Por ser $(1-x)_{im} \approx 1$, y $(1-x) \approx 1$, el primer término de la igualdad representa el cambio de concentración dx , por unidad de incremento de concentración $(x - x_i)$, causante del cambio y representa la medida de la dificultad de extracción.

Designamos por N_t el número de unidades de transferencia, que multiplicadas por H_t , la altura de cada una, determinada experimentalmente, da la altura de la columna

$$N_t = \int_{x_2}^{x_1} \frac{(1-x)_m \cdot dx}{(1-x)(x-x_1)} = \frac{dH}{H_t} = \frac{H}{H_t}$$

Las dificultades prácticas para conocer las concentraciones intermedias x_i , se superan con los coeficientes globales de transferencia, K_i , que dan la velocidad de difusión en función del gradiente total $(x-x^*)$, pero es necesario que el coeficiente de distribución sea constante en el intervalo de concentraciones

$$m = \frac{y_i}{x_i} = \frac{y^*}{x^*} = \frac{y}{x^*}$$

... aunque en la práctica no se tiene en cuenta con rigor.

La media logarítmica $(1-x)_{gm}$, de $(1-x^*)$ y $(1-x)$

$$(1-x)_{gm} = \frac{(1-x^*) - (1-x)}{\ln \frac{1-x^*}{1-x}} = \frac{x-x^*}{\ln \frac{1-x^*}{1-x}}$$

$$N_{tg} = \int_{x_2}^{x_1} \frac{(1-x)_{gm} \cdot dx}{(1-x)(x-x^*)} = \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{(1-x) \ln \frac{1-x^*}{1-x}} = \frac{H}{H_{tg}}$$

La altura de relleno requerida para conseguir un cambio de concentración igual al incremento medio logarítmico de las concentraciones es la "ALTURA DEL ELEMENTO DE TRANSFERENCIA (H.T.U.)".

La razón adimensional entre la variación de concentración conseguida en la extracción y la media logarítmica de las concentraciones extremas es el "NUMERO DE ELEMENTOS DE TRANSFERENCIA".

La eficacia de la extracción se ha calculado, obteniendo la H.T.U. - total referida al agua. Igual se podría haber realizado calculando - la H.E.T.P. o el tanto por ciento de fenol extraído, teniendo en cuenta las concentraciones de entrada y salida de las aguas fenólicas.

Como las disoluciones son diluidas hemos empleado la siguiente fórmula:

$$H.T.U._{ta} = \frac{H}{(C_{a1}-C_{a2})/C_{gm}}$$

en donde H es la altura de relleno de la columna Ca_1 y Ca_2 las concentraciones de fenol en la alimentación y el refinado respectivamente y C_{gm} la media logarítmica de concentraciones según la expresión:

$$C_{gm} = \frac{(Ca_1 - Cá_1) - (Ca_2 - Cá_2)}{2,3 \log \frac{Ca_1 - Cá_1}{Ca_2 - Cá_2}}$$

siendo $Cá_1$ y $Cá_2$ las concentraciones de fenol en equilibrio.

De la misma forma se podría haber calculado la H.T.U._{tb} referida al benceno, con lo cual, las ecuaciones "mutatis mutandis" quedarían de esta forma:

$$H.T.U._{tb} = \frac{H}{(Cb_2 - Cb_1)/C_{gm}}$$

$$C_{gm} = \frac{(Cb_1 - Cb_1') - (Cb_2 - Cb_2')}{2,3 \log \frac{Cb_1 - Cb_1'}{Cb_2 - Cb_2'}}$$

Si, como en nuestro caso, el benceno de entrada tiene concentración de fenol 0, estas últimas ecuaciones quedarían así:

$$H.T.U._{tb} = \frac{H}{(Cb_2 - Cb_1) / \frac{Cb_1' - (Cb_2' - Cb_2)}{Cb_1' - Cb_2'}}$$

Aún sería más correcto la suma de los dos H.T.U., es decir:

$$H.T.U._{total} = H.T.U._{ta} + H.T.U._{tb}$$

pero, para facilitar el cálculo y teniendo en cuenta que la H.T.U. de más influencia es la del agua, todos los cálculos se han realizado con la ecuación primera, siendo las conclusiones igualmente válidas.

A continuación, se recogen en las tablas 15 a 19, los valores de las concentraciones de fenol de cada fase, y el valor de la H.T. U. para cada amplitud y frecuencia, permaneciendo constante la relación de caudales.

En las tablas 20 a 23 ámbas inclusive, se exponen los valores de las concentraciones de fenol de cada fase, y el valor de la H.T. U. para cada amplitud y frecuencia, para distintas relaciones de caudales.

$$\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} = \frac{H.T.U.}{2}$$

$$\frac{(C_1 - C_2) - (C_3 - C_4)}{(C_1 + C_2) + (C_3 + C_4)} = \frac{H.T.U.}{2}$$

$$\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} = \frac{H.T.U.}{2}$$

En las tablas 24 a 27, se exponen los valores de las concentraciones de fenol de cada fase, y el valor de la H.T. U. para cada amplitud y frecuencia, para distintas relaciones de caudales.

$$\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} = \frac{H.T.U.}{2}$$

En las tablas 28 a 31, se exponen los valores de las concentraciones de fenol de cada fase, y el valor de la H.T. U. para cada amplitud y frecuencia, para distintas relaciones de caudales.

TABLA Nº. 15

ANILLOS RASCHIG

RELACION DE CAUDALES = 3

Amplitud	Frecuencia	Ca (gr./l.)	Cr (gr./l.)	Ce(gr./l.)	H.T.U. (cm)
A1	F1	19,95	10,85	28,26	34,26
	F2	20,45	10,42	29,83	32,05
	F3	20,08	9,72	30,14	28,96
	F4	20,20	9,79	31,03	29,34
	F5	20,08	10,04	30,14	30,37
A2	F1	20,33	9,41	32,03	27,76
	F2	20,20	9,10	33,28	26,62
	F3	20,33	8,65	34,85	25,01
	F4	20,20	8,91	33,60	25,92
	F5	20,33	9,03	33,28	26,32
A3	F1	19,83	9,60	30,77	28,52
	F2	19,83	9,28	31,71	27,26
	F3	20,20	8,91	33,91	25,92
	F4	20,33	9,03	33,28	26,32
	F5	20,33	9,22	33,28	27,07
A4	F1	20,20	10,10	30,14	30,64
	F2	20,20	9,72	31,40	28,96
	F3	20,33	9,16	33,60	26,84
	F4	19,58	9,22	31,08	27,07
	F5	20,08	9,47	31,71	28,00
A5	F1	20,83	10,48	31,08	32,43
	F2	20,20	9,91	30,77	29,81
	F3	20,33	9,41	32,03	27,76
	F4	20,08	9,66	31,08	28,80
	F5	19,83	9,85	30,77	29,38
A6	F1	20,08	10,79	27,63	33,96
	F2	20,33	10,35	30,14	31,77
	F3	20,20	9,91	30,77	29,81
	F4	19,95	10,23	29,20	31,22
A7	F1	19,70	11,16	25,75	35,93
	F2	19,95	11,03	26,69	35,22
	F3	20,08	10,79	27,63	33,96

TABLA Nº. 16

MALLA S.A.E. 70

RELACION DE CAUDALES = 3

Amplitud	Frecuencia	Ca(gr./l.)	Cr(gr./l.)	Ce (gr./l.)	H.T.U.(cm)
A1	F1	20,08	10,79	27,63	33,96
	F2	20,08	9,91	30,77	29,81
	F3	20,20	8,91	33,91	25,92
	F4	20,33	9,22	33,28	27,07
	F5	20,08	9,47	31,71	28,00
A2	F1	20,20	8,34	35,48	23,96
	F2	19,83	8,10	35,48	23,19
	F3	20,08	7,53	37,68	21,43
	F4	20,08	7,72	37,05	21,99
	F5	19,95	8,03	35,80	22,96
A3	F1	20,20	9,03	33,60	26,32
	F2	20,08	8,58	34,54	24,77
	F3	19,95	8,03	35,80	22,97
	F4	20,20	8,34	35,48	23,96
	F5	20,20	8,47	35,17	24,39
A4	F1	20,08	9,47	31,71	28,00
	F2	20,33	9,03	33,28	26,32
	F3	19,83	8,28	33,60	23,73
	F4	19,83	8,58	33,60	24,77
	F5	19,83	8,91	32,03	25,92
A5	F1	20,08	9,72	30,14	28,96
	F2	20,33	9,22	33,28	27,07
	F3	19,95	8,53	34,22	24,56
	F4	20,08	8,78	33,91	25,46
	F5	20,33	9,03	33,28	26,32
A6	F1	20,20	10,10	30,14	30,64
	F2	20,08	9,72	30,14	28,96
	F3	20,20	9,10	33,28	26,62
	F4	19,83	9,35	31,40	27,56
A7	F1	20,20	10,60	28,89	32,97
	F2	20,08	10,29	29,52	31,49
	F3	19,95	9,79	30,46	29,34

TABLA Nº. 17

MALLA S.A.E. 80

RELACION DE CAUDALES = 3

Amplitud	Frecuencia	Ca(gr./l.)	Cr(gr./l.)	Ce(gr./l.)	H.T.U.(cm.)
A1	F1	20,33	10,35	29,83	31,77
	F2	19,83	9,60	30,77	28,52
	F3	20,33	8,65	34,85	25,01
	F4	19,83	8,97	32,34	26,14
	F5	19,83	9,28	31,71	27,26
A2	F1	20,08	8,09	35,80	23,12
	F2	20,08	7,72	37,05	21,99
	F3	19,83	7,09	38,31	20,18
	F4	20,08	7,28	38,31	20,74
	F5	20,08	7,53	37,68	21,43
A3	F1	19,83	8,78	32,34	25,46
	F2	19,83	8,28	34,54	23,73
	F3	20,08	7,72	37,05	21,99
	F4	19,95	8,03	35,80	22,97
	F5	19,83	8,10	35,48	23,19
A4	F1	19,95	9,16	30,77	26,84
	F2	20,33	8,65	34,85	25,01
	F3	19,95	8,03	35,80	22,97
	F4	20,08	8,28	35,48	23,73
	F5	19,95	8,53	34,22	24,56
A5	F1	20,08	9,47	31,71	28,00
	F2	19,83	8,91	32,03	25,92
	F3	20,08	8,28	35,48	23,73
	F4	19,95	8,53	34,22	24,56
	F5	20,20	8,78	33,28	25,46
A6	F1	20,20	9,79	31,08	29,34
	F2	20,33	9,29	33,28	27,26
	F3	19,95	8,72	33,60	25,22
	F4	19,95	8,97	32,97	26,14
A7	F1	19,83	10,29	28,26	31,49
	F2	19,95	9,79	30,46	29,34
	F3	19,83	9,29	31,71	27,26

TABLA Nº. 18

MALLA S.A.E. 100

RELACION DE CAUDALES = 3

Amplitud	Frecuencia	Ca(gr./l.)	Cr(gr./l.)	Ce (gr./l.)	H.T.U.(cm)
A1	F1	20,70	10,79	29,83	33,96
	F2	20,20	10,10	30,14	30,64
	F3	20,33	9,16	33,60	26,84
	F4	20,33	9,41	32,03	27,76
	F5	20,08	9,72	30,14	28,96
A2	F1	19,95	8,53	34,22	24,56
	F2	19,83	8,28	34,54	23,73
	F3	20,08	7,70	37,05	21,96
	F4	19,83	8,10	35,48	23,19
	F5	19,70	8,22	34,54	23,57
A3	F1	19,45	9,16	30,77	26,84
	F2	19,58	8,78	32,34	25,46
	F3	20,20	8,34	35,48	23,96
	F4	20,08	8,58	34,54	24,77
	F5	19,70	8,65	33,28	25,01
A4	F1	20,08	9,72	30,14	28,96
	F2	20,33	9,28	33,28	27,26
	F3	19,95	8,65	33,91	25,01
	F4	19,95	8,78	33,60	25,46
	F5	19,95	8,97	32,97	26,14
A5	F1	20,20	10,10	30,14	30,64
	F2	20,08	9,47	31,71	28,00
	F3	20,08	8,78	33,91	25,46
	F4	20,20	8,91	33,91	25,92
	F5	20,33	9,16	33,60	26,84
A6	F1	20,08	10,48	28,89	32,43
	F2	20,08	9,91	30,46	29,81
	F3	20,33	9,41	32,03	27,76
	F4	20,08	9,66	31,08	28,80
A7	F1	19,95	11,03	26,69	35,22
	F2	20,08	10,60	28,57	32,97
	F3	20,08	10,29	29,52	31,49

TABLA Nº. 19

MALLA S.A.E. 120

RELACION DE CAUDALES = 3

Amplitud	Frecuencia	Ca(gr./l.)	Cr(gr./l.)	Ce(gr./l.)	H.T.U. (cm.)
A1	F1	20,08	10,79	27,63	33,96
	F2	19,95	10,29	29,83	31,49
	F3	20,33	9,41	32,03	27,76
	F4	19,83	9,60	30,77	28,52
	F5	20,08	9,91	30,14	29,81
A2	F1	20,33	9,03	33,28	26,32
	F2	20,08	8,58	34,54	24,77
	F3	20,08	8,09	35,80	23,12
	F4	20,20	8,34	35,48	23,96
	F5	19,95	8,53	34,22	24,56
A3	F1	19,83	9,35	31,40	27,56
	F2	20,33	9,03	33,28	26,32
	F3	20,08	8,58	34,54	24,77
	F4	19,58	8,78	32,34	25,46
	F5	19,95	8,97	32,97	26,14
A4	F1	20,08	9,91	30,14	29,81
	F2	20,08	9,47	31,71	28,00
	F3	19,58	8,91	32,03	25,92
	F4	20,33	9,03	33,28	26,32
	F5	19,83	9,35	31,40	27,56
A5	F1	20,33	10,35	30,14	31,77
	F2	20,20	9,72	31,40	28,96
	F3	19,95	9,16	30,77	26,84
	F4	20,33	9,41	32,03	27,76
	F5	20,08	9,66	31,08	28,80
A6	F1	20,70	10,79	29,83	33,96
	F2	19,95	10,23	29,20	31,22
	F3	19,95	9,79	30,46	29,34
	F4	20,20	10,10	30,14	30,64
A7	F1	19,70	11,16	25,75	35,93
	F2	19,95	10,85	28,26	34,26
	F3	20,45	10,54	29,83	32,69

TABLA Nº. 20

RELACION DE CAUDALES 4,69

MALLA S.A.E. 80

Amplitud	Frecuencia	Ca	Cr	Ce	H.T.U.
A1	F1	20,0	12,0	32,0	41,32
	F2	20,0	11,6	37,5	38,68
	F3	21,0	11,3	42,5	35,65
	F4	22,5	11,6	41,0	36,36
	F5	22,0	12,0	41,0	38,84
A2	F1	21,0	11,0	52,0	32,87
	F2	17,7	10,1	47,41	30,59
	F3	17,6	9,9	47,7	29,76
	F4	18,8	10,0	38,5	30,30
	F5	20,0	10,6	37,5	32,46
A3	F1	21,0	11,3	42,5	35,65
	F2	21,0	11,0	52,0	32,87
	F3	19,7	10,1	49,2	30,59
	F4	22,5	12,9	48,5	32,51
	F5	20,5	11,3	50,0	34,18
A4	F1	22,5	11,6	41,0	36,36
	F2	22,5	12,2	44,0	34,29
	F3	20,5	11,0	47,0	32,87
	F4	21,0	11,3	52,0	34,18
	F5	21,0	11,3	42,5	35,65

TABLA N°. 21

RELACION DE CAUDALES 3,14

MALLA S.A.E. 80

Amplitud	Frecuencia	Ca	Cr	Ce	H.T.U.
A1	F1	20,0	10,6	37,5	32,46
	F2	20,0	10,0	41,0	30,30
	F3	19,6	9,1	49,3	26,73
	F4	22,0	11,0	41,0	28,36
	F5	17,6	9,9	47,7	29,76
A2	F1	20,5	9,1	45,5	25,13
	F2	17,5	8,2	23,5	23,30
	F3	20,9	7,7	40,3	21,90
	F4	20,7	8,1	39,1	23,06
	F5	22,5	9,7	41,0	23,78
A3	F1	19,4	9,3	50,1	27,45
	F2	18,0	8,8	36,0	25,25
	F3	22,5	9,7	41,0	23,78
	F4	22,0	10,0	39,0	24,57
	F5	19,6	9,1	50,1	26,50
A4	F1	17,8	9,7	49,3	28,96
	F2	19,4	9,3	50,1	27,45
	F3	21,0	9,9	40,2	24,57
	F4	20,5	9,1	45,5	25,13
	F5	18,8	9,1	37,5	26,73

TABLA Nº. 22

RELACION DE CAUDALES 2,12

MALLA S.A.E. 80

Amplitud	Frecuencia	Ca	Cr	Ce	H.T.U.
A1	F1	17,8	9,7	49,3	28,96
	F2	19,6	9,1	49,3	26,73
	F3	20,9	7,7	40,3	21,9
	F4	22,0	10,0	39,0	24,57
	F5	22,5	9,7	42,5	26,33
A2	F1	20,7	7,5	41,4	21,34
	F2	19,4	6,7	41,3	19,09
	F3	21,0	9,1	47,0	18,17
	F4	19,7	6,6	42,2	18,93
	F5	22,0	9,7	47,0	19,93
A3	F1	17,5	8,2	23,5	23,30
	F2	20,9	7,7	40,3	21,90
	F3	22,0	9,7	47,0	19,93
	F4	19,4	7,2	42,5	20,20
	F5	20,7	7,5	41,4	21,34
A4	F1	22,0	10,0	39,0	24,57
	F2	20,7	8,1	39,1	23,06
	F3	20,9	7,3	42,4	20,80
	F4	20,7	7,5	41,4	21,34
	F5	20,7	8,0	39,0	23,06

TABLA Nº. 23

RELACION DE CAUDALES 1,04

MALLA S.A.E. 80

Amplitud	Frecuencia	Ca	Cr	Ce	H.T.U.
A1	F1	19,4	9,1	48,4	26,50
	F2	20,0	8,1	37,2	24,57
	F3	22,0	8,5	34,5	19,93
	F4	20,7	7,5	40,1	21,9
	F5	20,5	7,7	39,0	23,78
A2	F1	19,5	6,8	41,4	19,09
	F2	18,8	7,5	42,5	17,34
	F3	19,7	5,4	30,1	16,03
	F4	19,8	5,7	30,1	16,77
	F5	19,8	8,5	43,5	17,34
A3	F1	20,7	7,5	41,4	21,34
	F2	20,0	7,5	48,5	20,10
	F3	19,3	6,4	42,7	18,45
	F4	19,4	6,7	41,4	19,09
	F5	22,0	8,5	34,5	19,93
A4	F1	21,0	7,6	40,3	21,90
	F2	21,0	7,3	42,4	20,8
	F3	19,8	6,6	42,2	18,93
	F4	20,0	6,6	32,5	19,93
	F5	20,0	6,3	41,3	20,80

Para relación de caudales constante, representando las H.T.U. en ordenadas, y en abscisas la frecuencia, amplitud o luz de malla se obtienen las gráficas 8 a 40, ambas inclusive.

Como uno de los objetivos fundamentales de este trabajo es la comparación de la eficacia de los anillos de malla con la de los anillos Raschig, en las tablas 24 y 30, se recogen los valores relativos de la eficacia para cada una de las variables de agitación.

Representando ventajas relativas en ordenadas, y en abscisas luz de malla, se obtienen las gráficas 41 a 51 ambas inclusive.

Para distintas relaciones de caudales, representando las H.T.U. - en ordenadas, y en abscisas la frecuencia o amplitud se obtienen las gráficas 52 a 60 ambas inclusive.

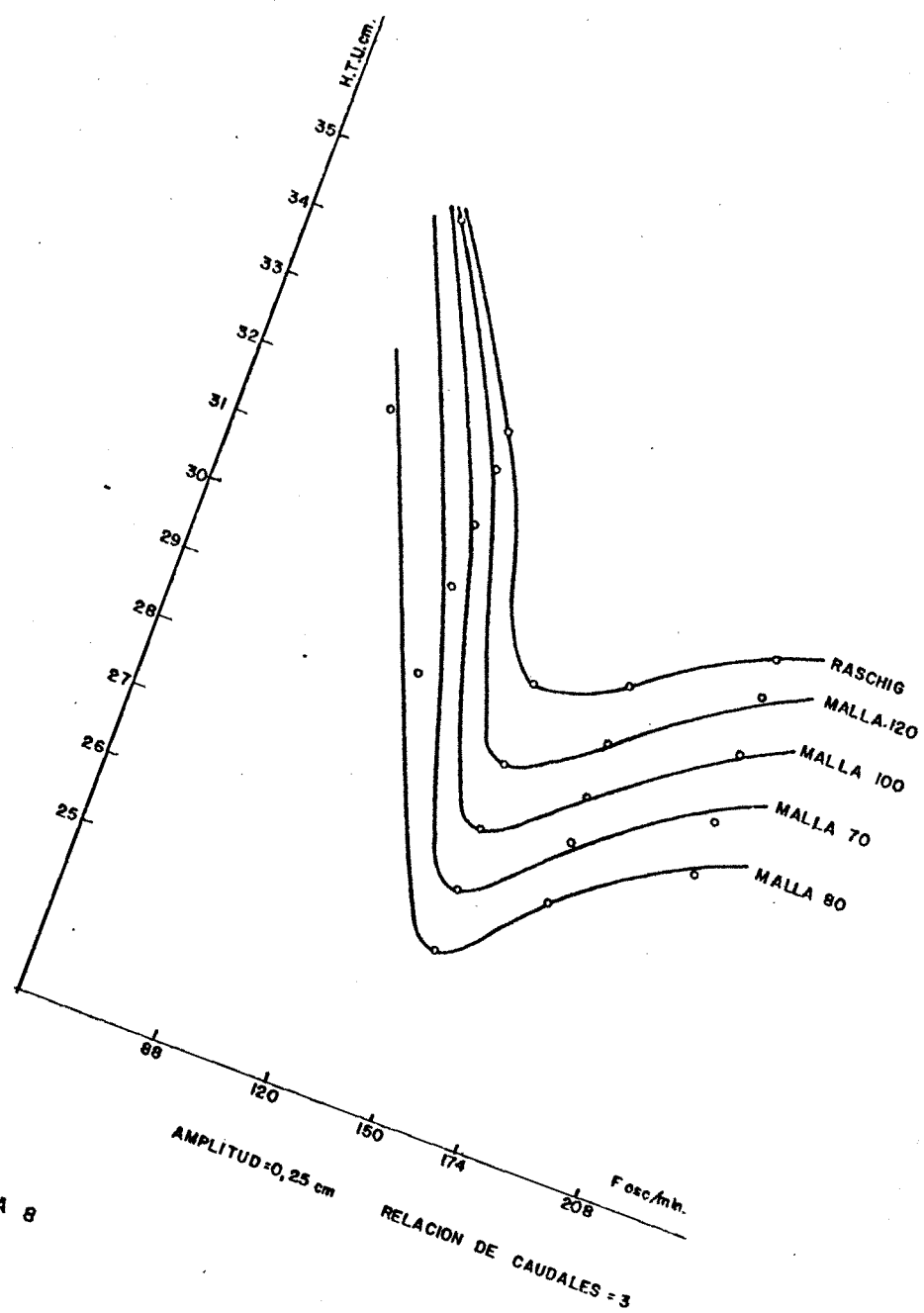
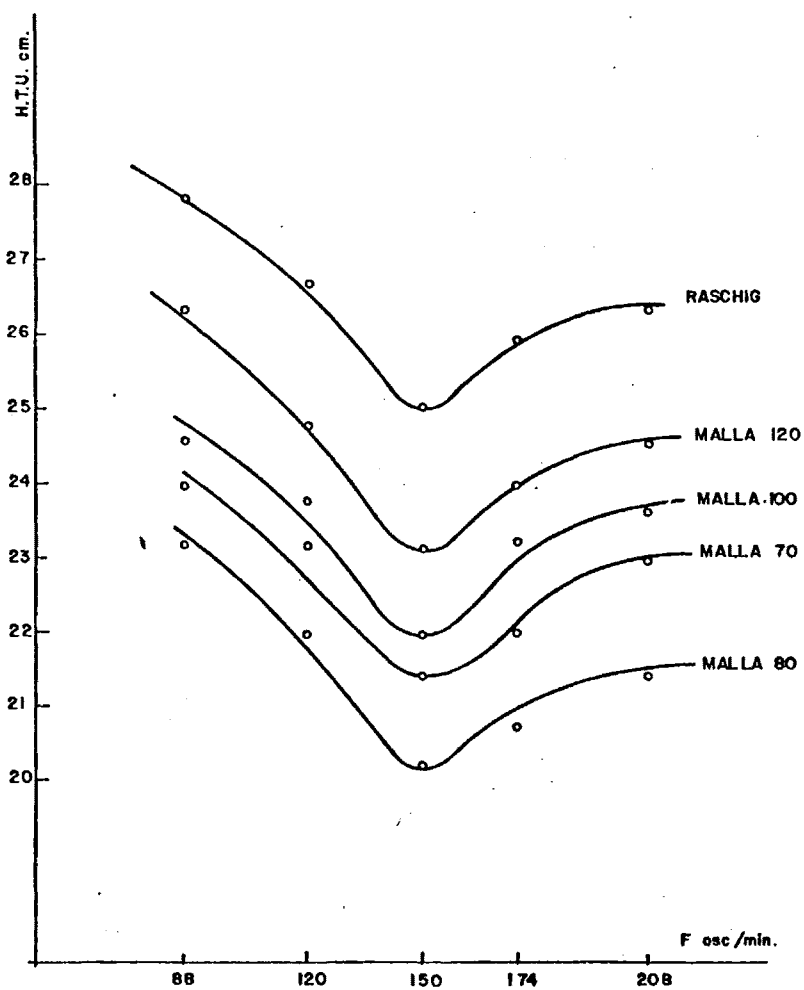
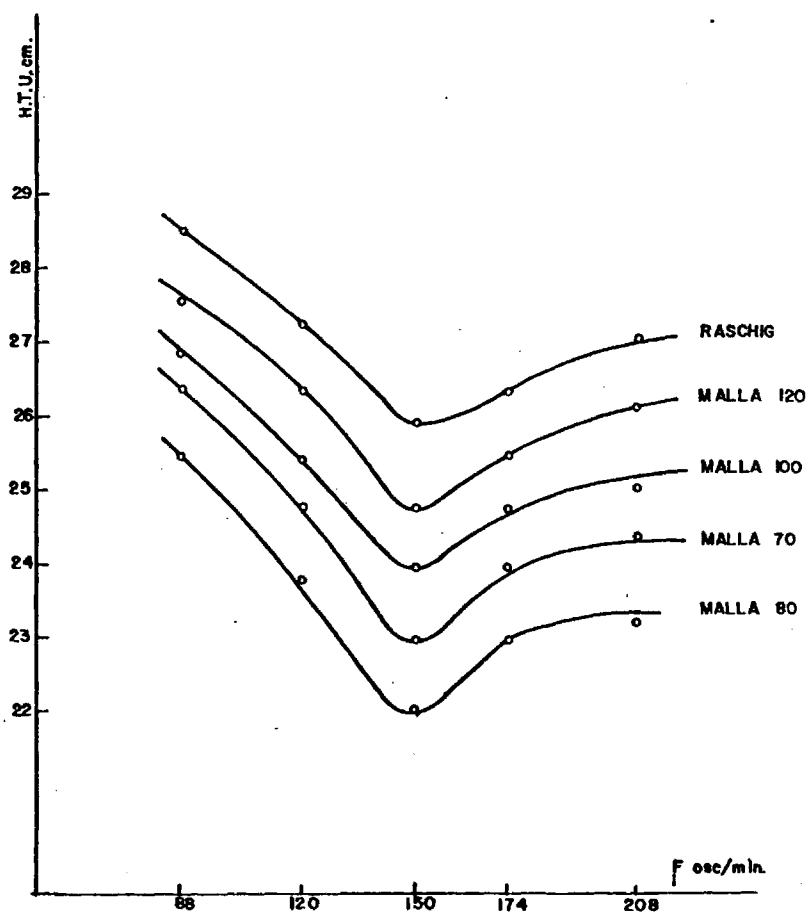


FIGURA 8



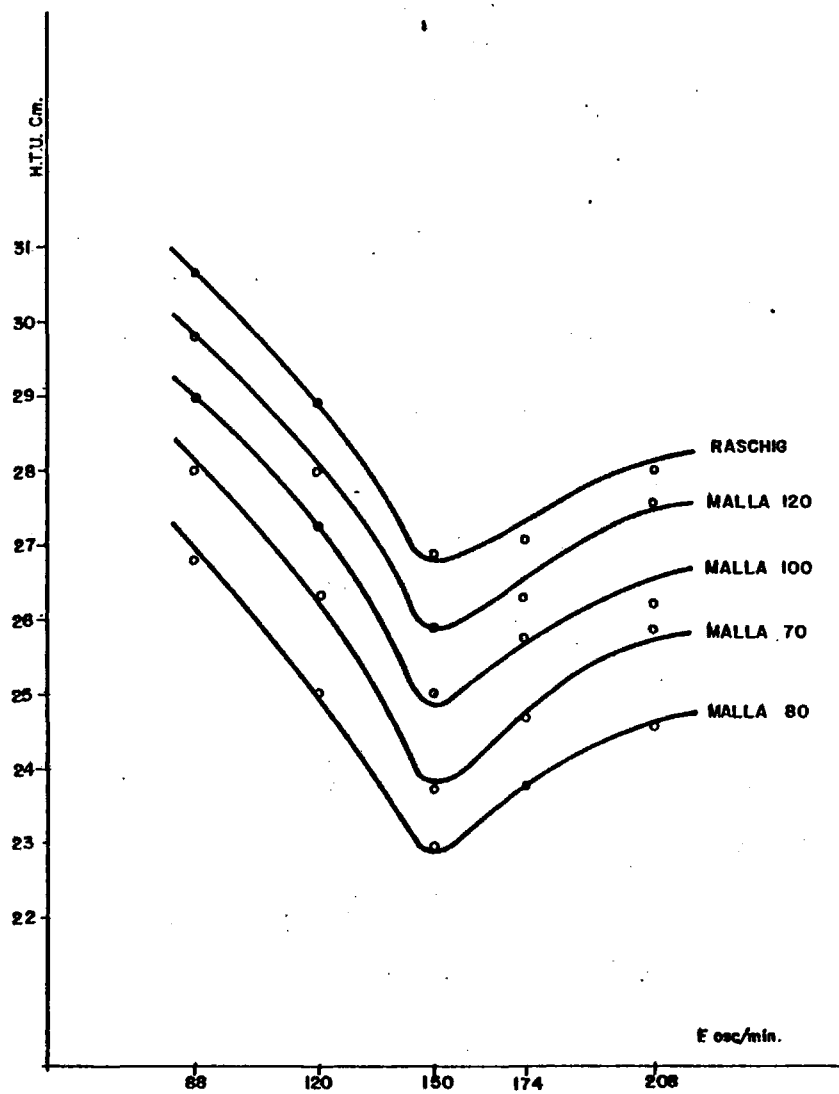
AMPLITUD = 0,75 cm. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 9



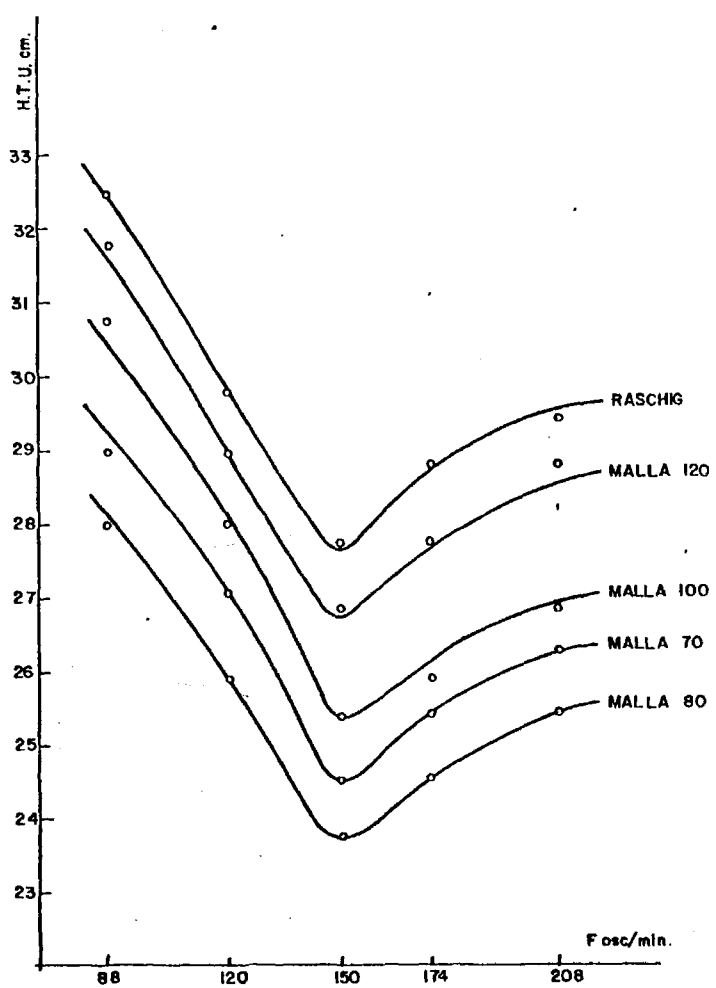
AMPLITUD= 1,25 cm RELACION DE CAUDALES= 3

FIGURA 10



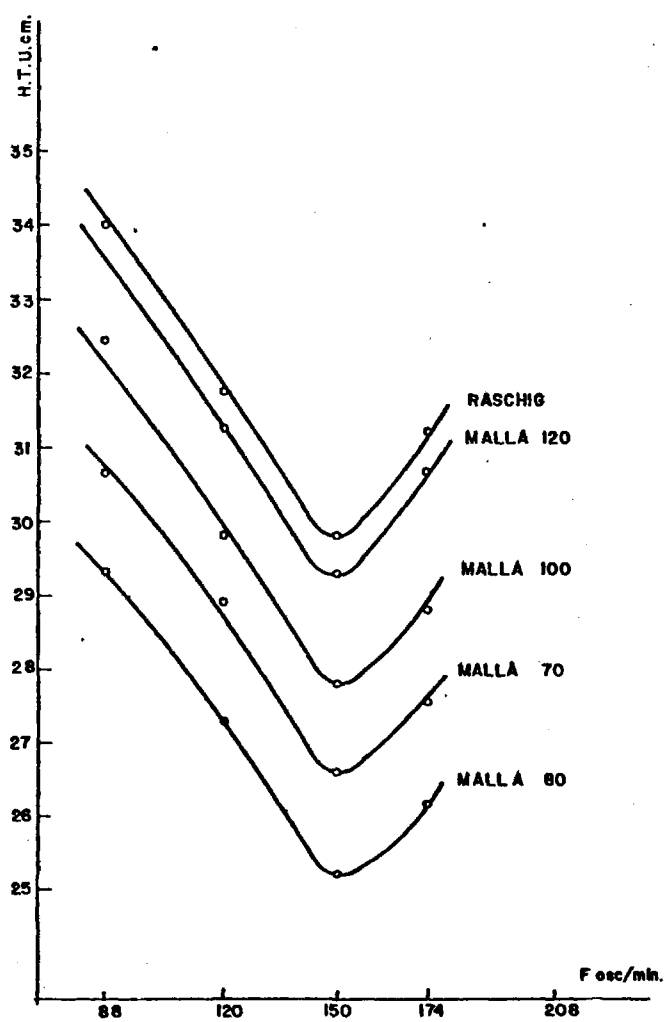
AMPLITUD = 1,80 Cm. RELACION DE CAUDALES = 3

FIG. 11



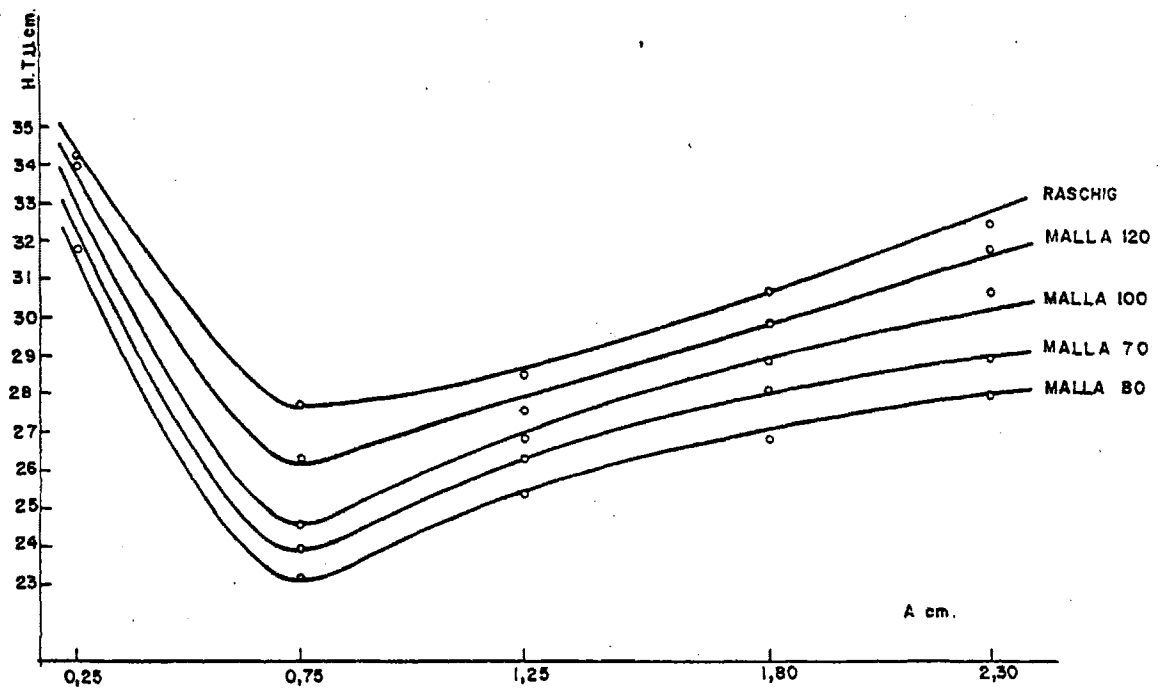
AMPLITUD=2.30 cm. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 12



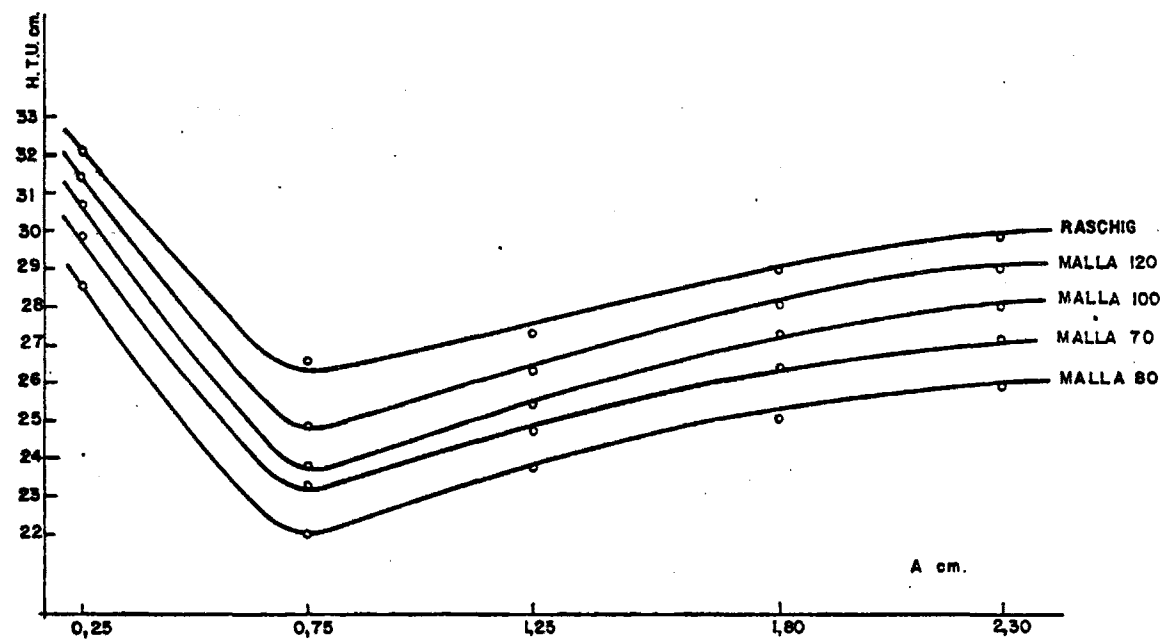
AMPLITUD=2,80 cm. RELACION DE CAUDALES=3

FIGURA 13



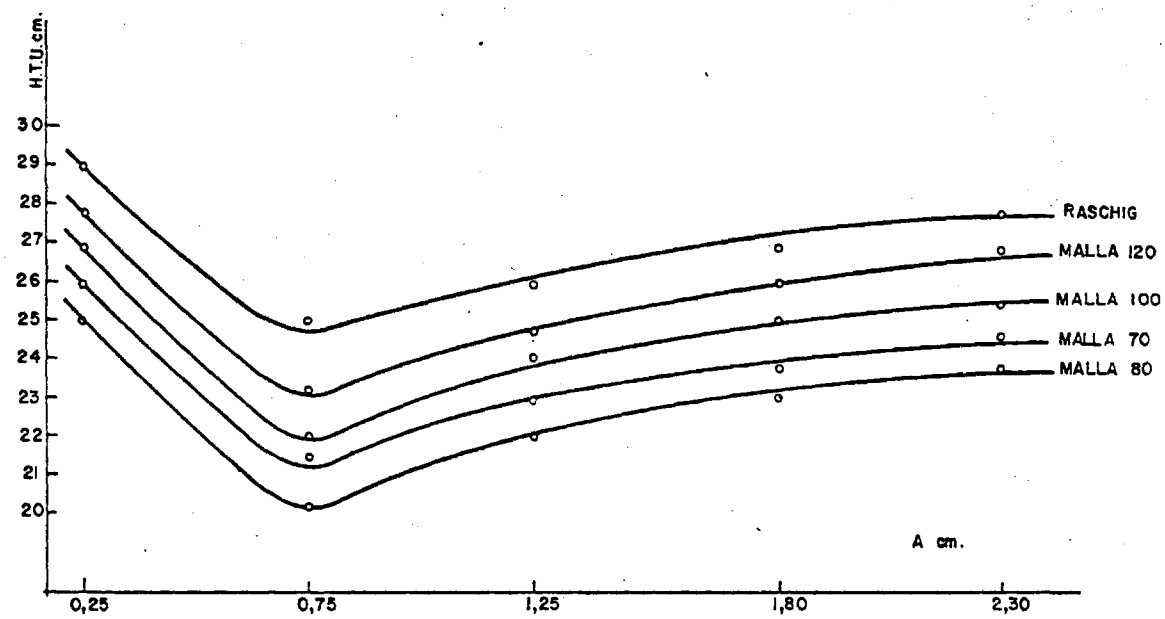
FRECUENCIA = 88 osc/min. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 14



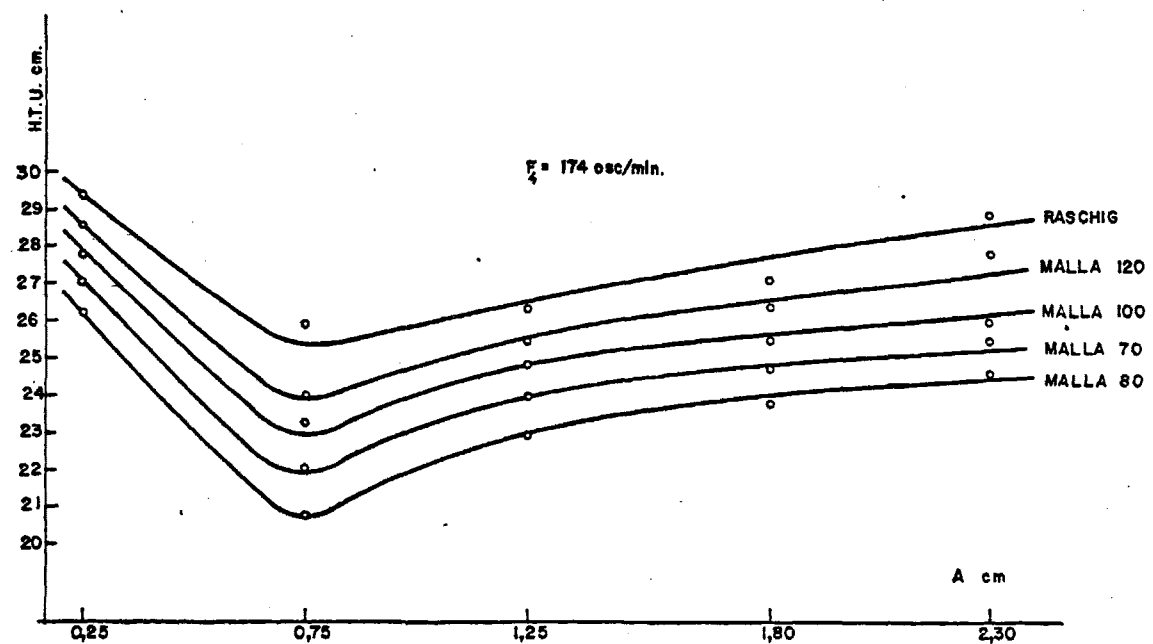
FRECUENCIA = 120 osc/min. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 15



FRECUENCIA = 150 osc/min. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 16



FRECUENCIA = 174 osc/min. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 17

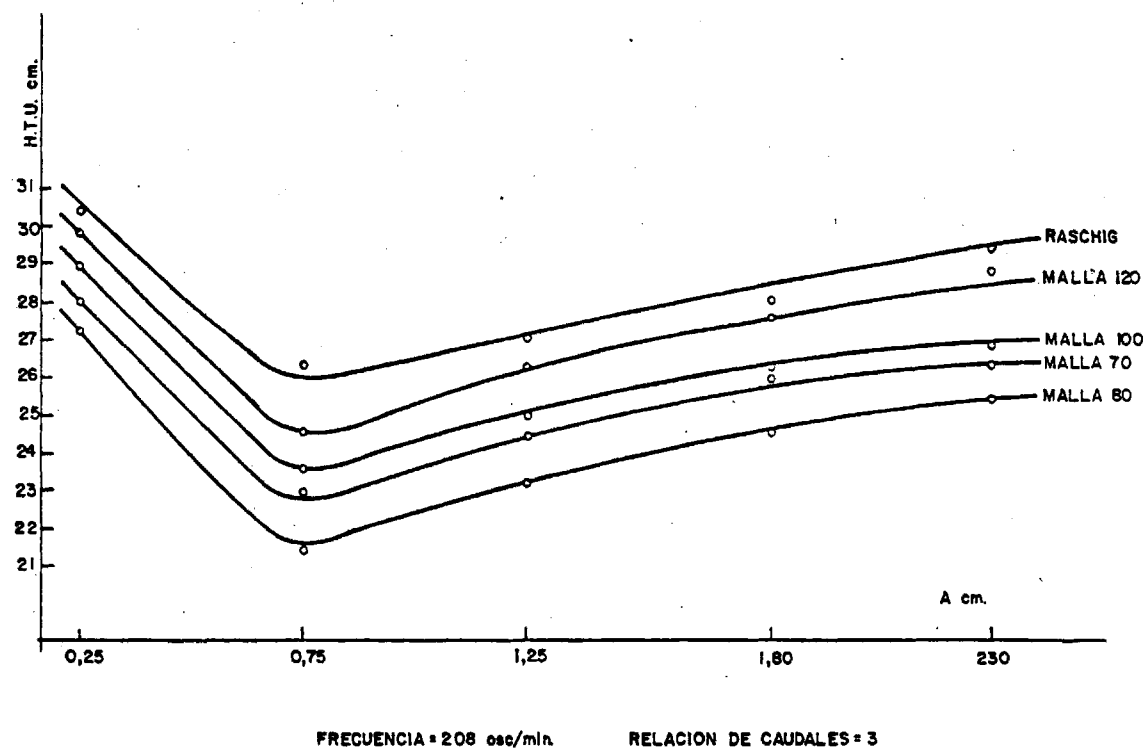
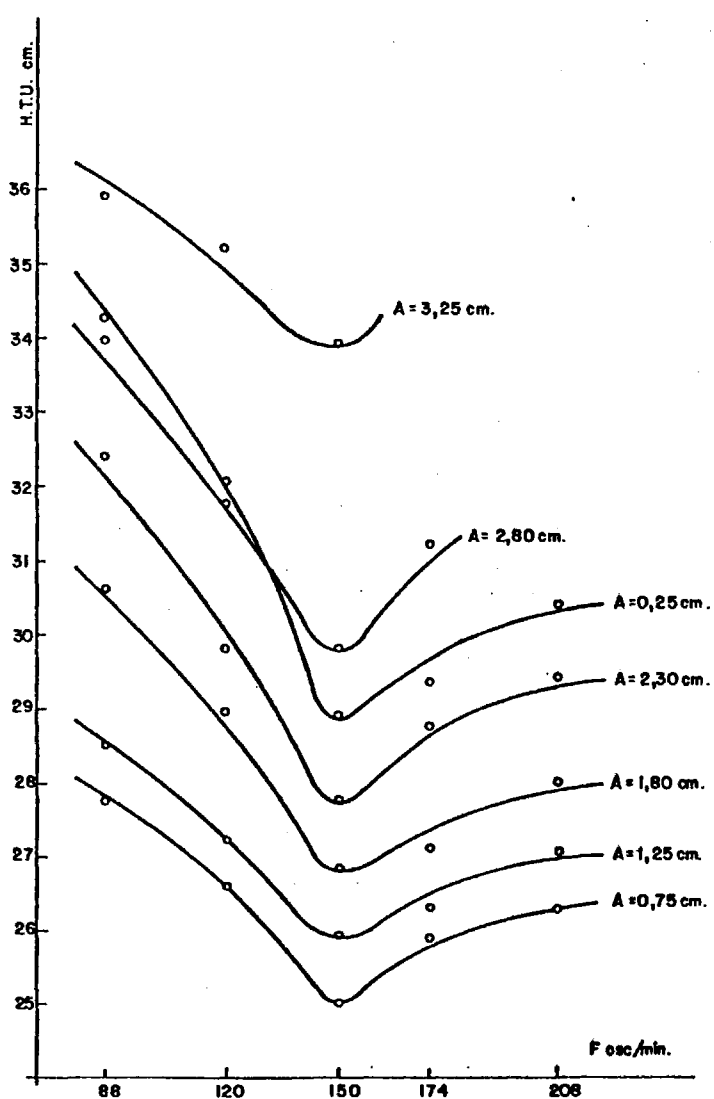
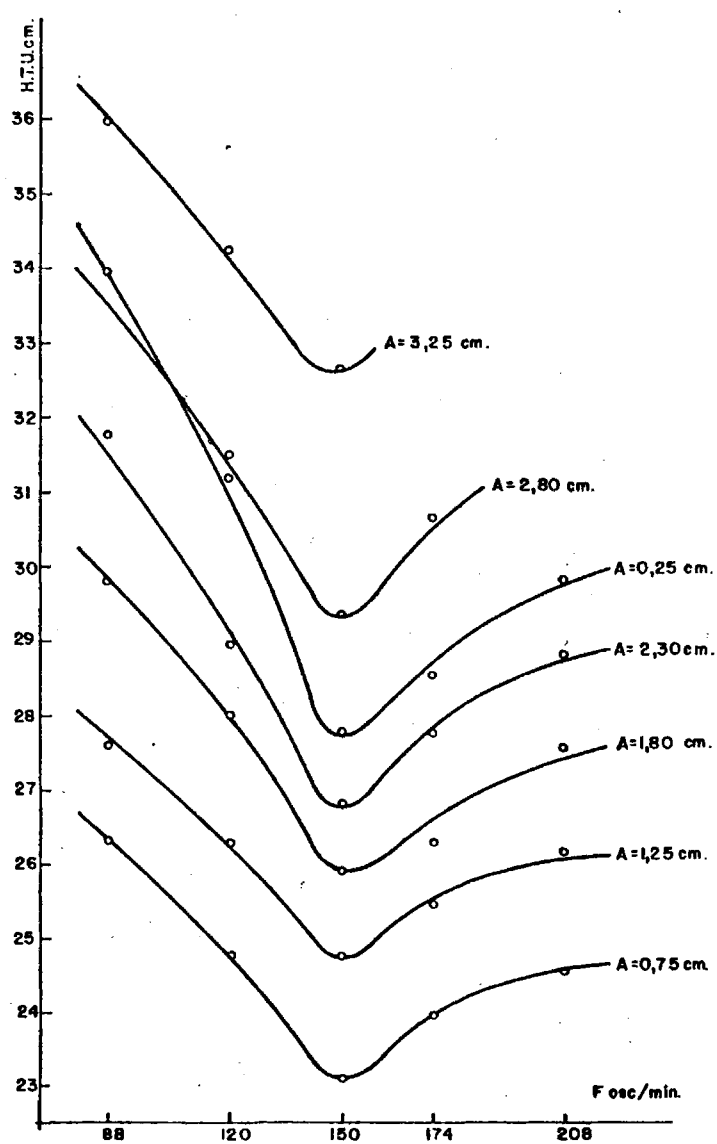


FIGURA 18



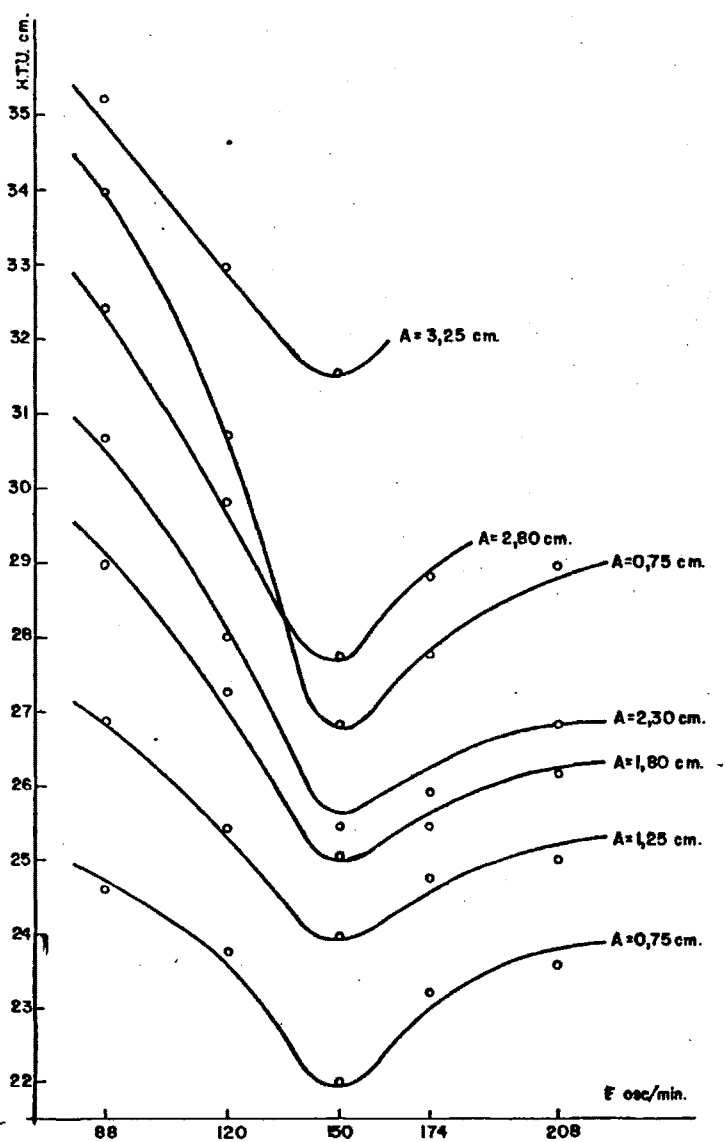
ANILLO RASCHIG RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 19



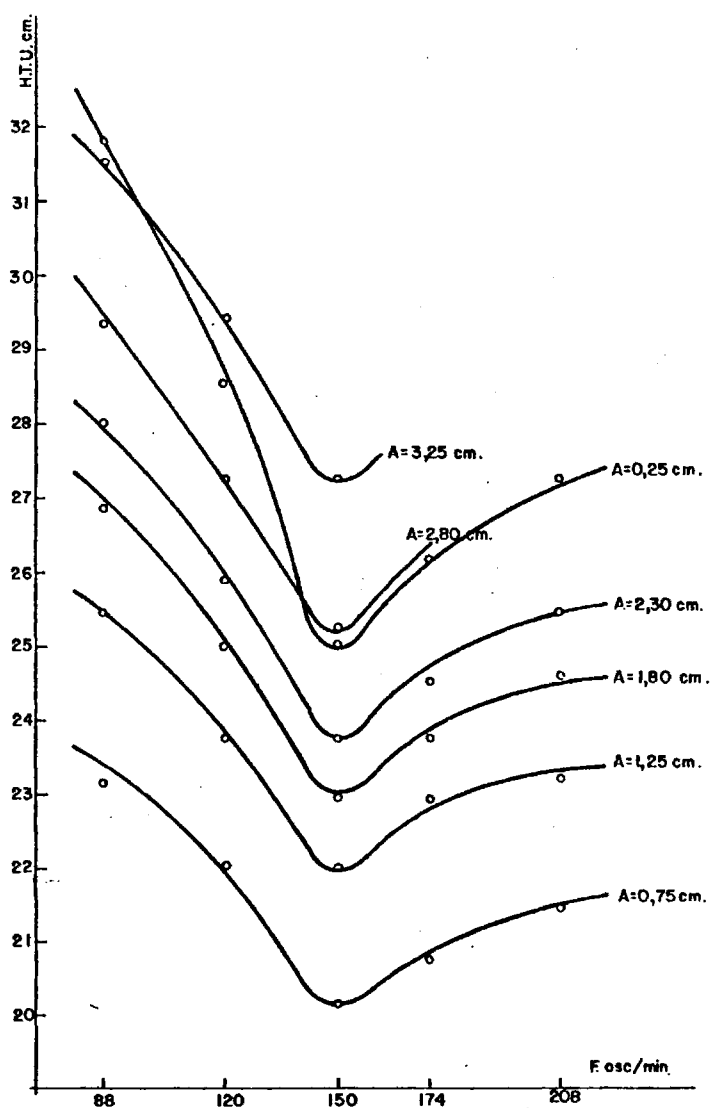
MALLA 120 RELACION DE CAUDALES= 3

FIGURA 20



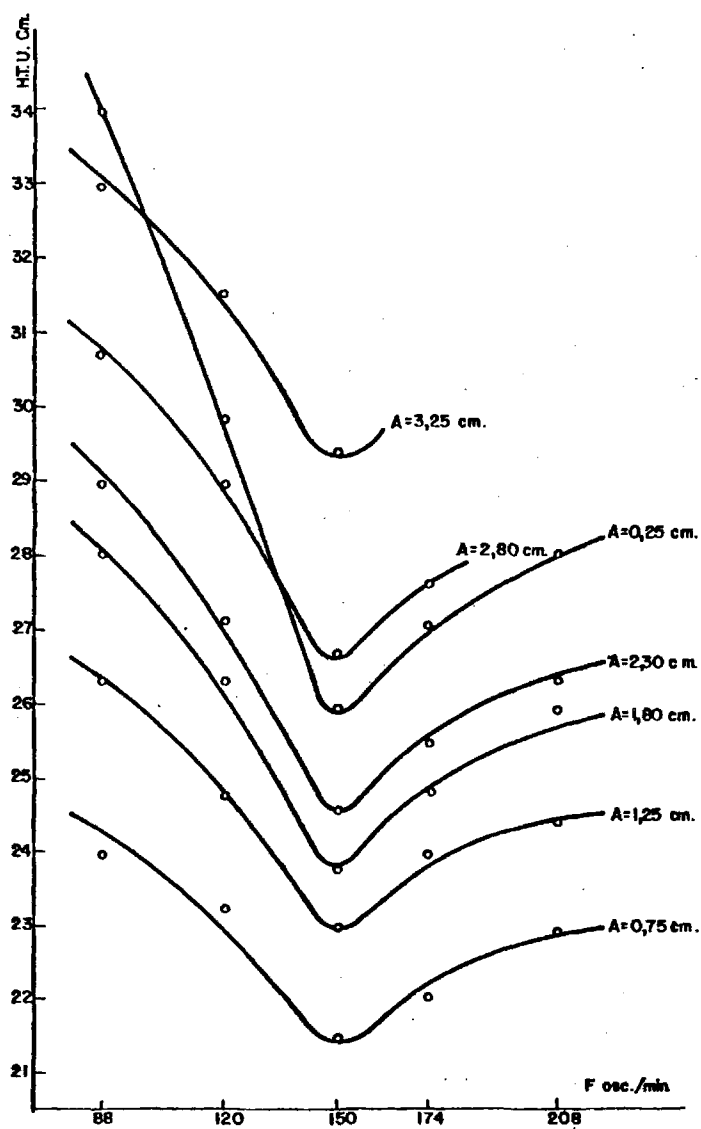
MALLA 100 RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 21



MALLA 80 RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 22



MALLA 70 RELACION DE CAUDALES = 3

FIG. 23

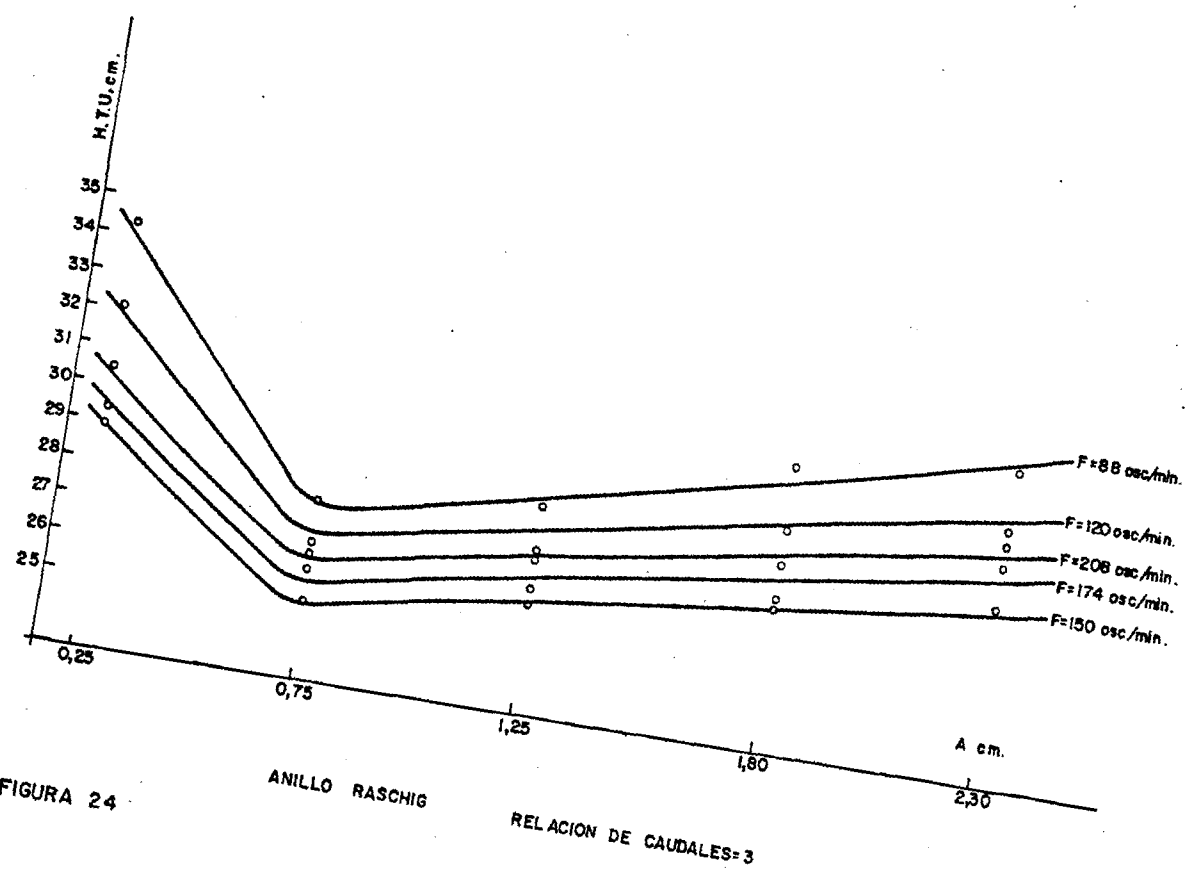


FIGURA 24

ANILLO RASCHIG

RELACION DE CAUDALES=3

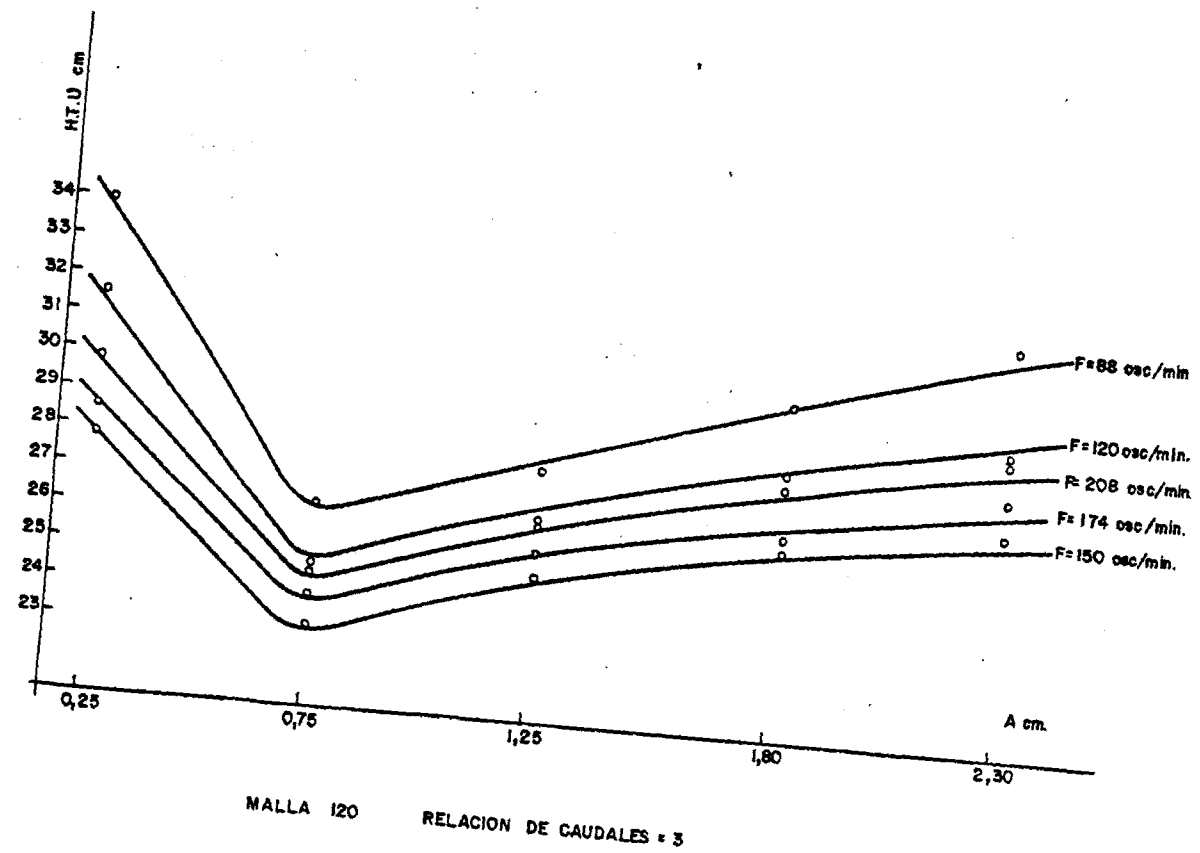
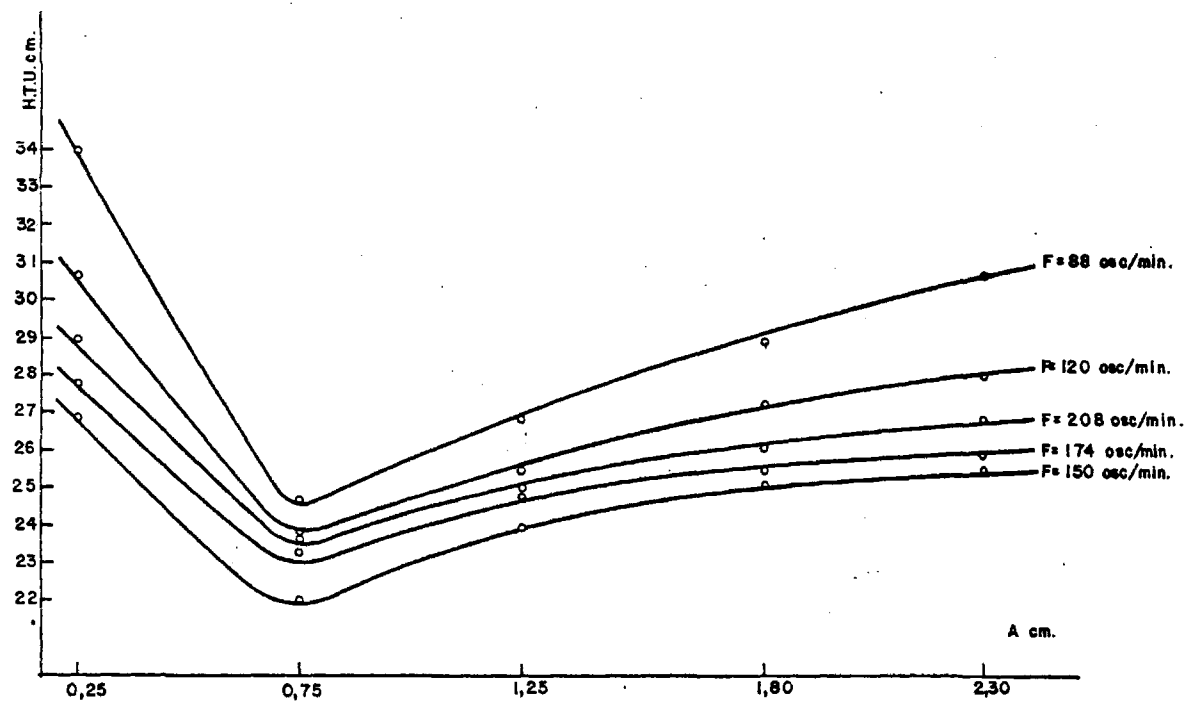


FIGURA 25



MALLA 100

RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 26

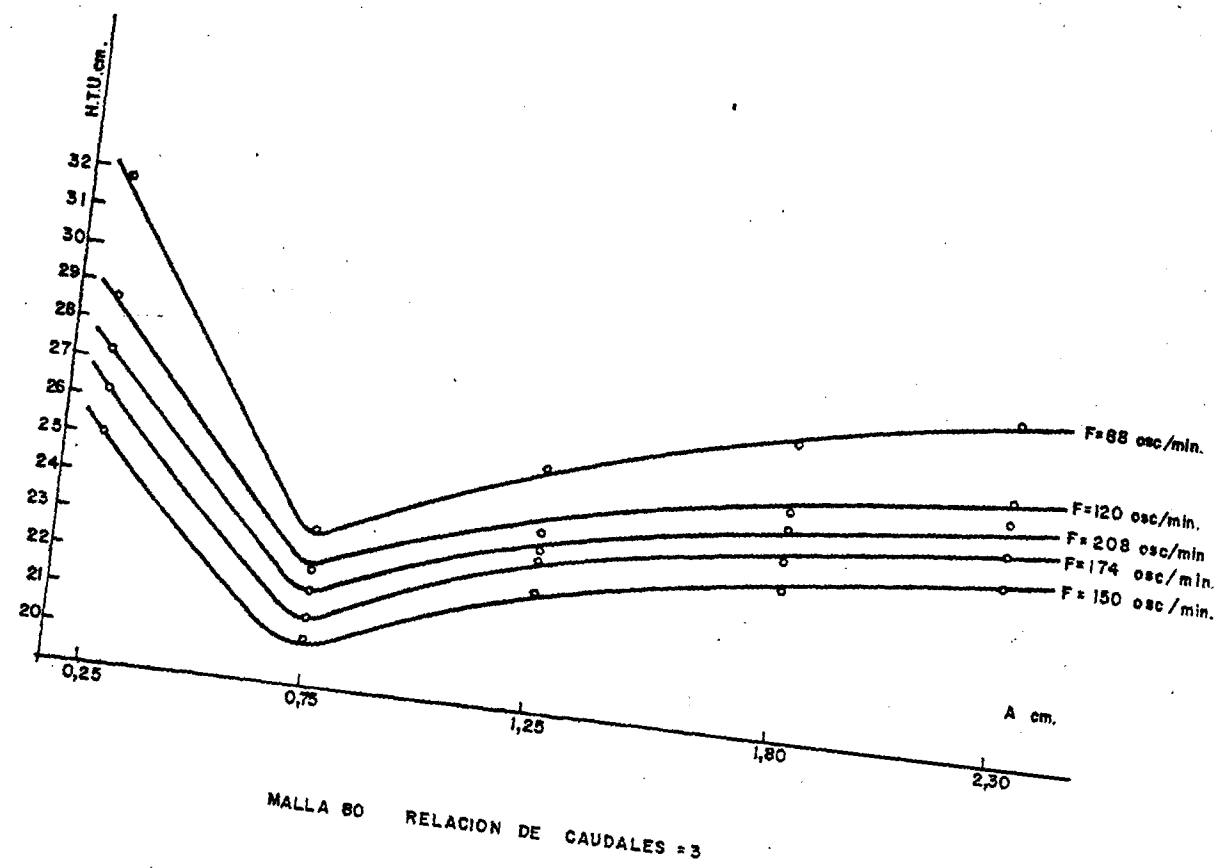
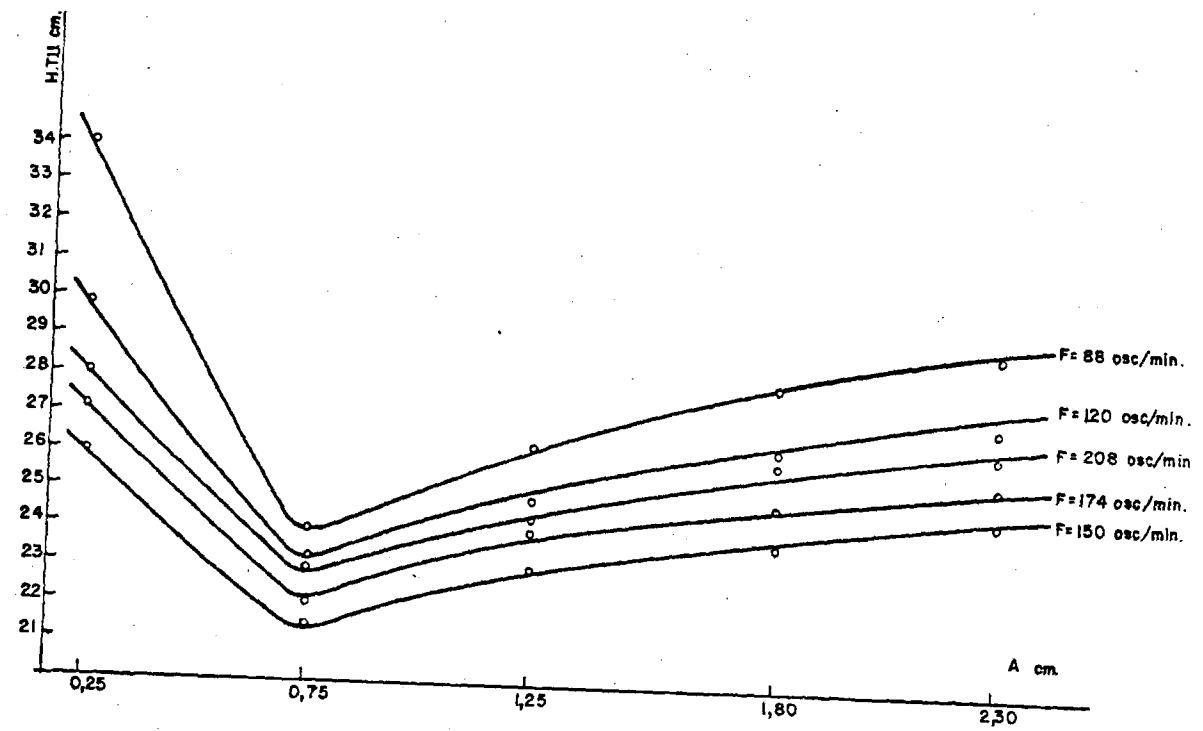
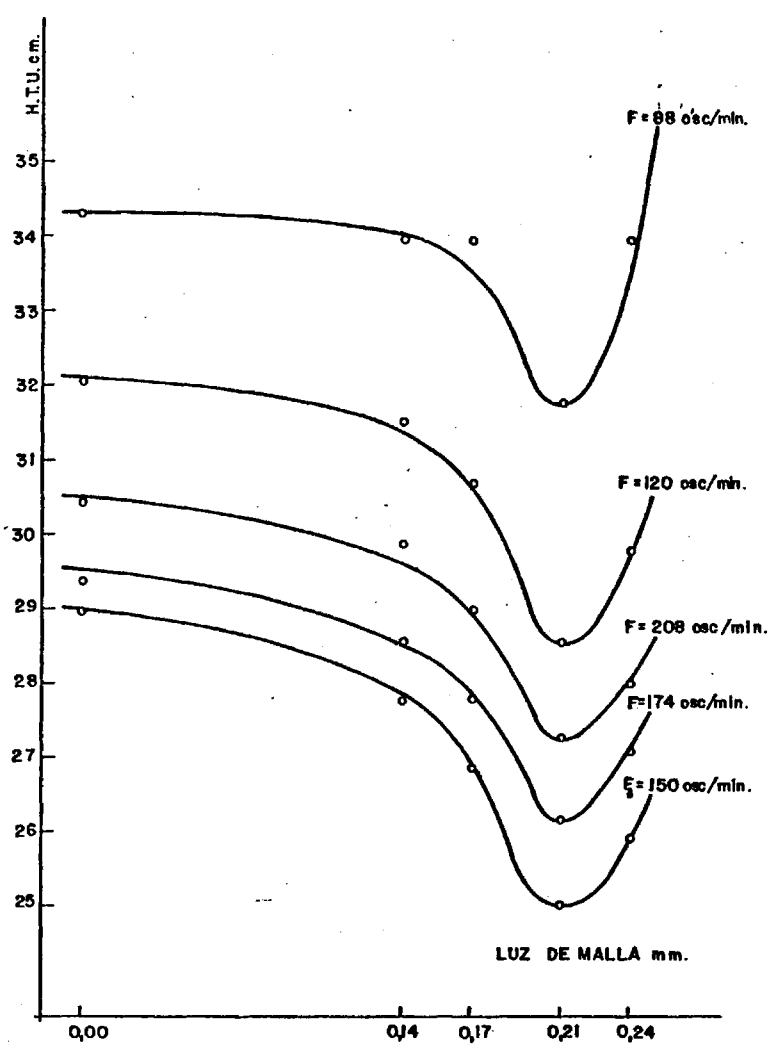


FIGURA 27



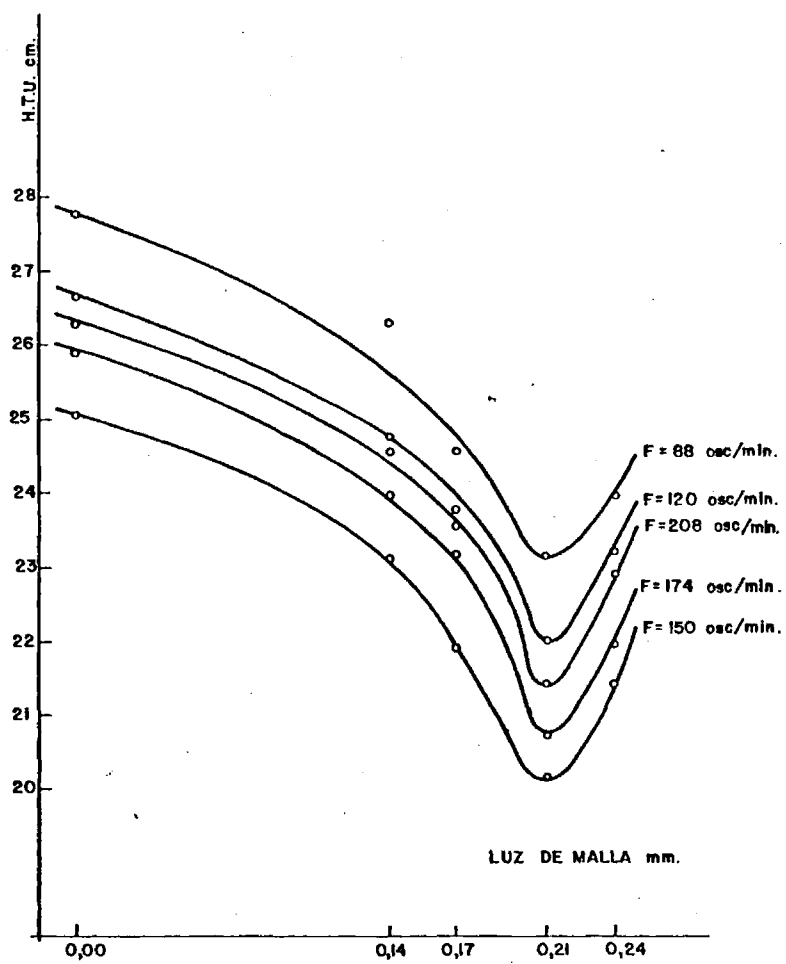
MALLA 70 RELACION DE CAUDALE = 3

FIGURA 28



AMPLITUD = 0,25 cm. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 29



AMPLITUD = 0,75 cm. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 30

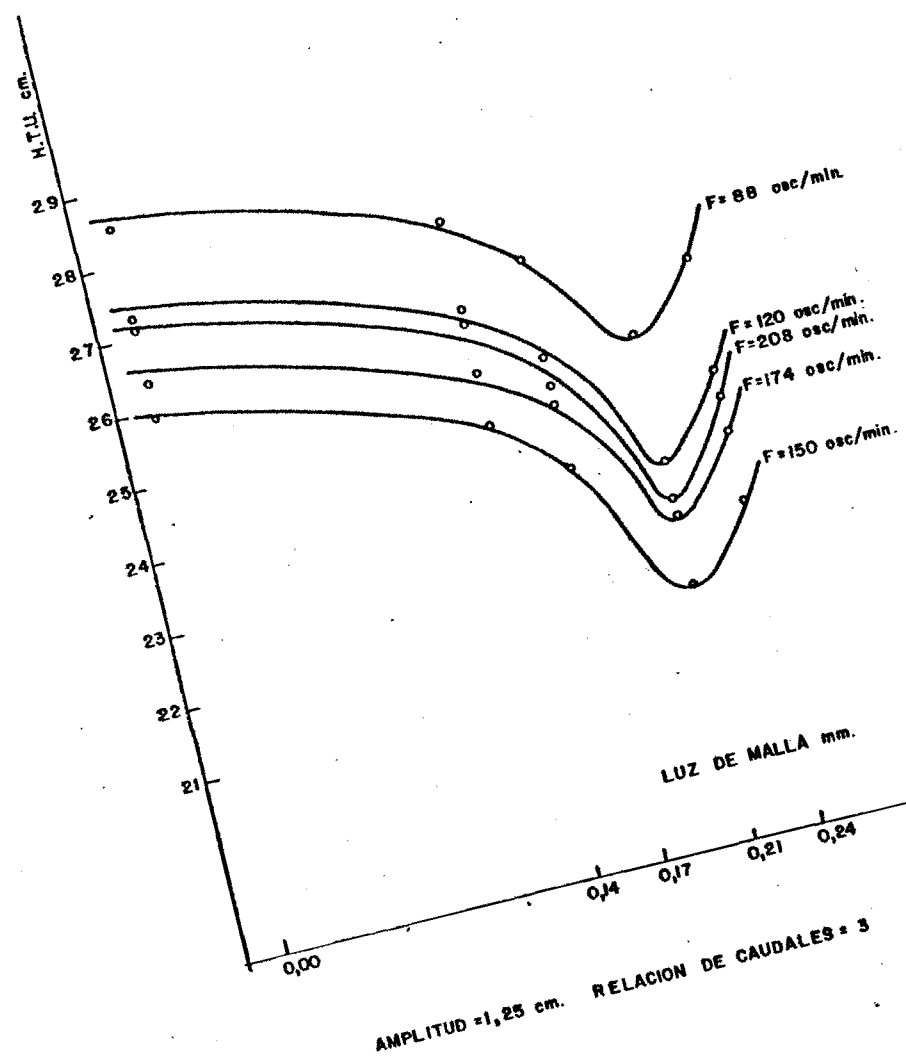
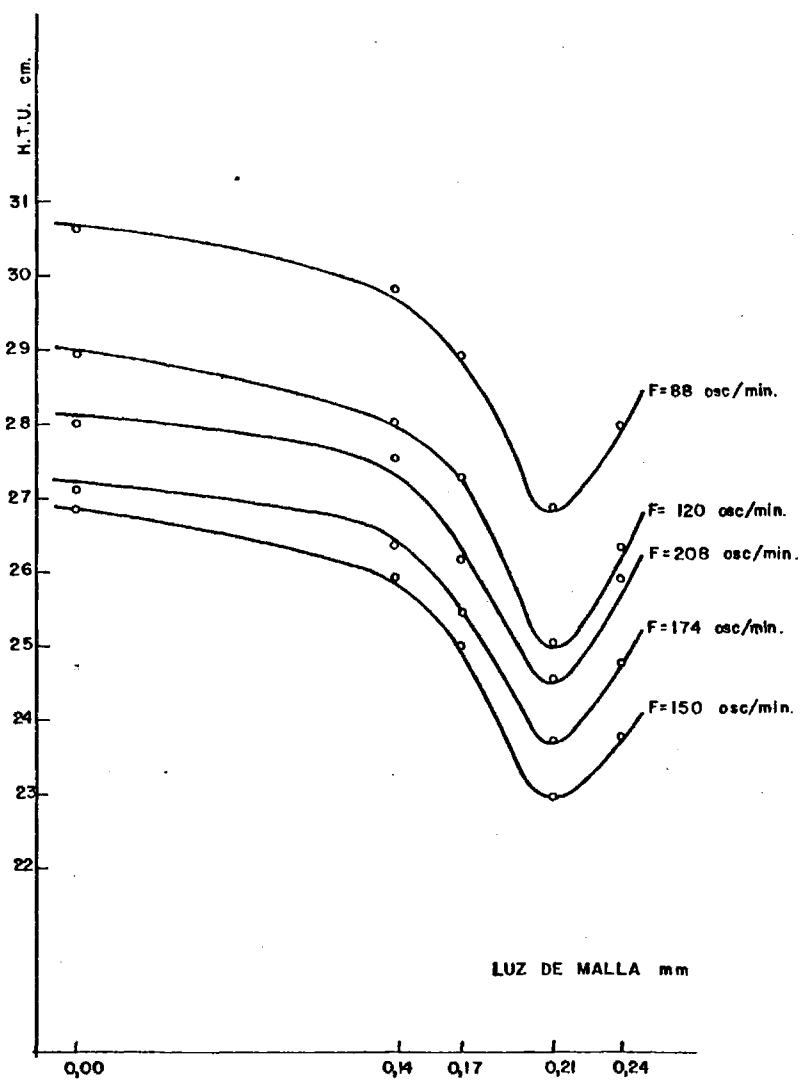
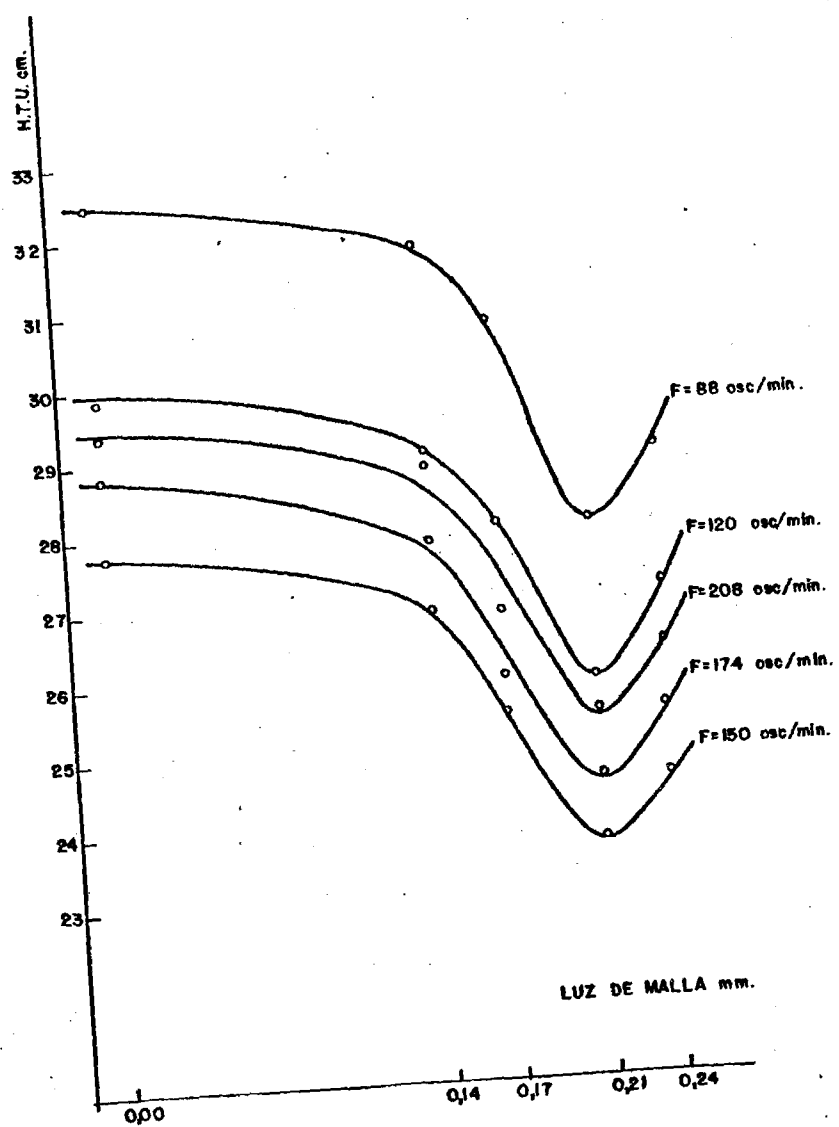


FIGURA 31



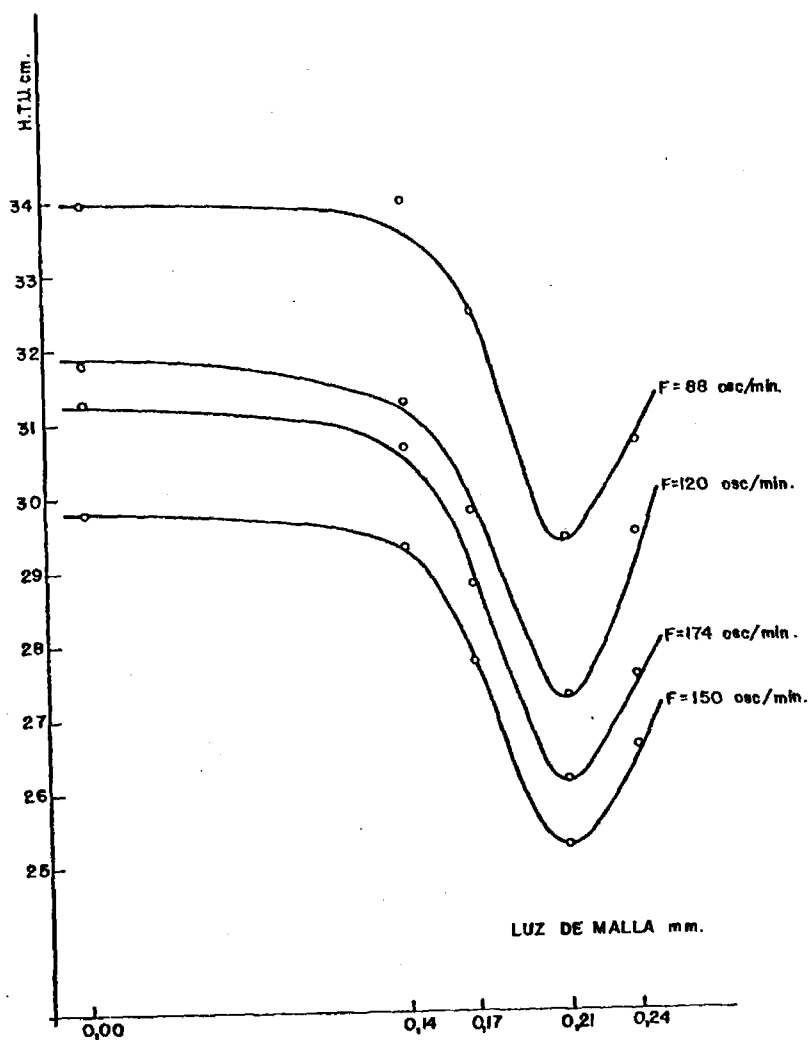
AMPLITUD = 1,80 cm. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 32



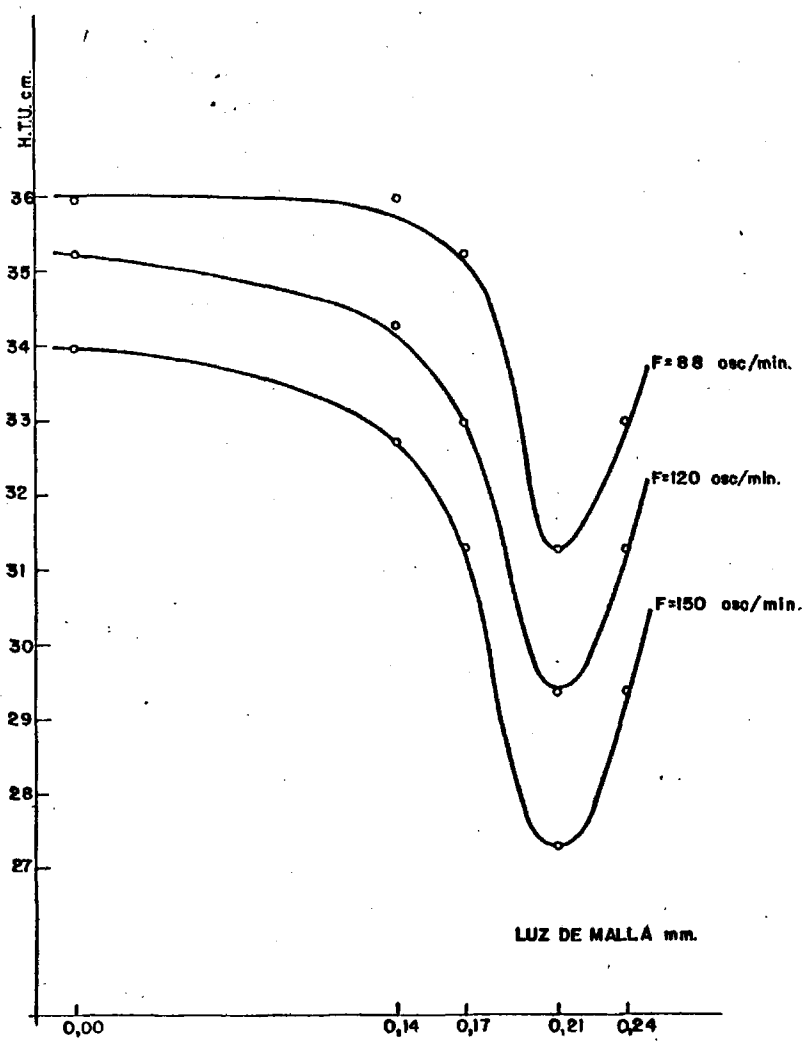
AMPLITUD = 2,30 cm. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 33



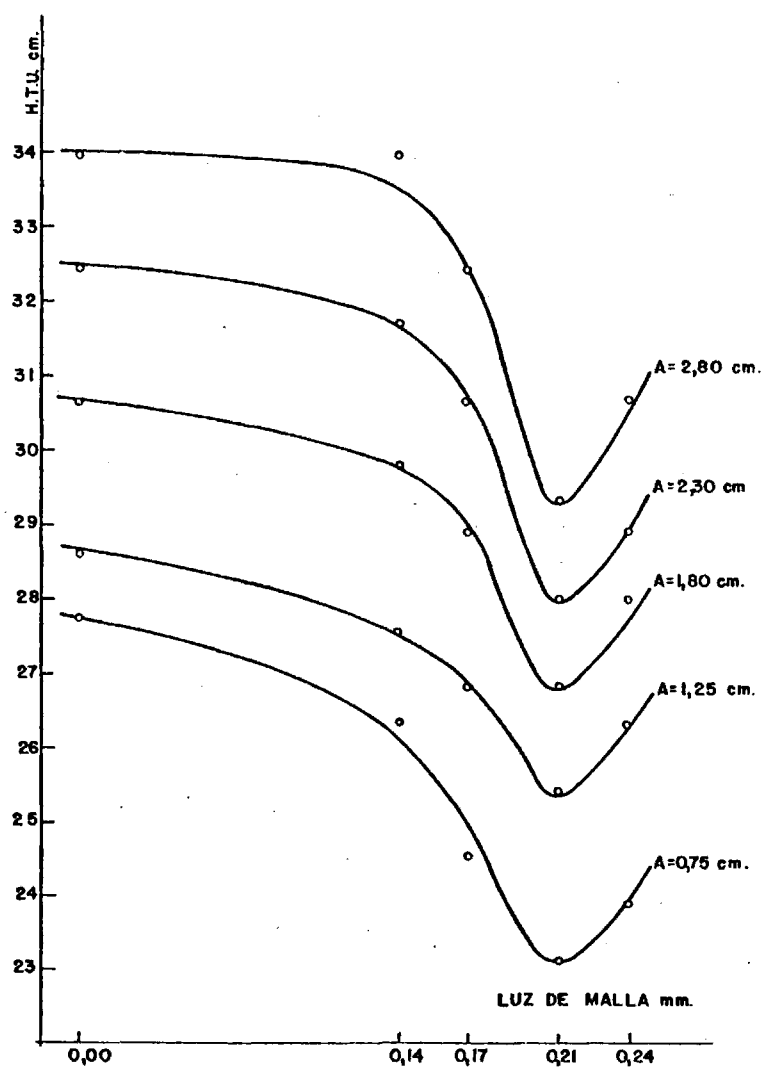
AMPLITUD = 2,80 cm. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 34



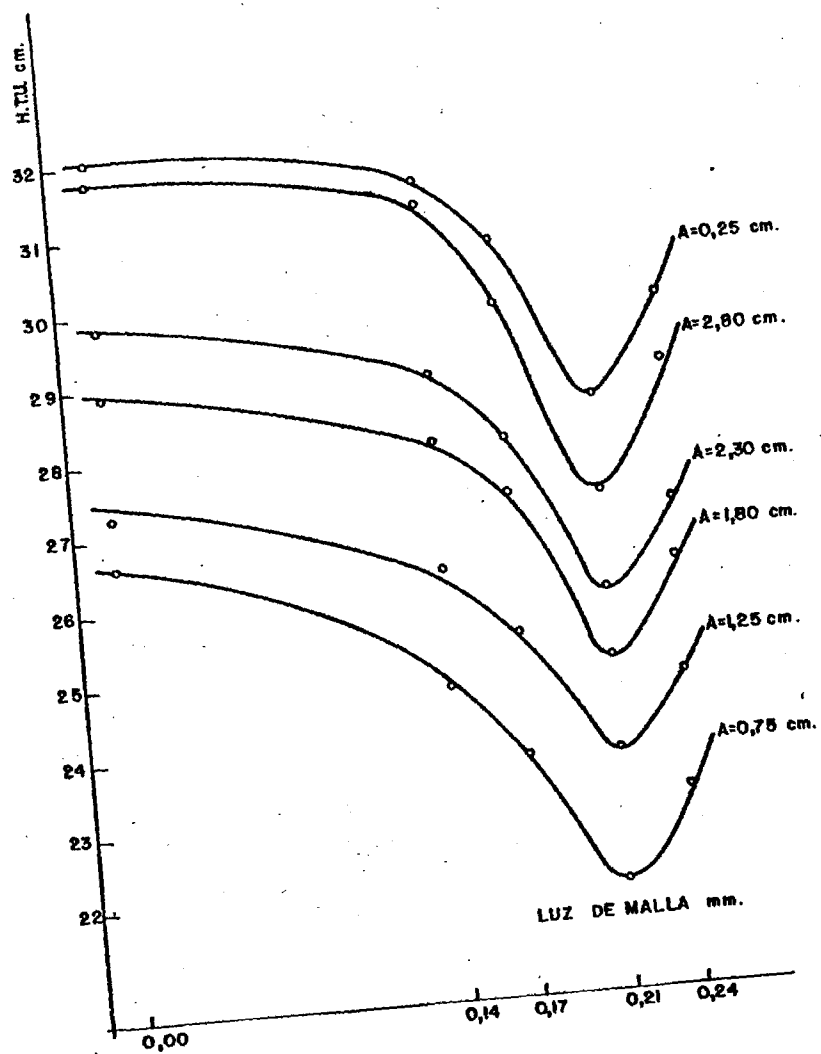
AMPLITUD = 3,25 cm. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 35



FRECUENCIA = 88 osc/min. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 36



FRECUENCIA = 120 osc/min. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 37

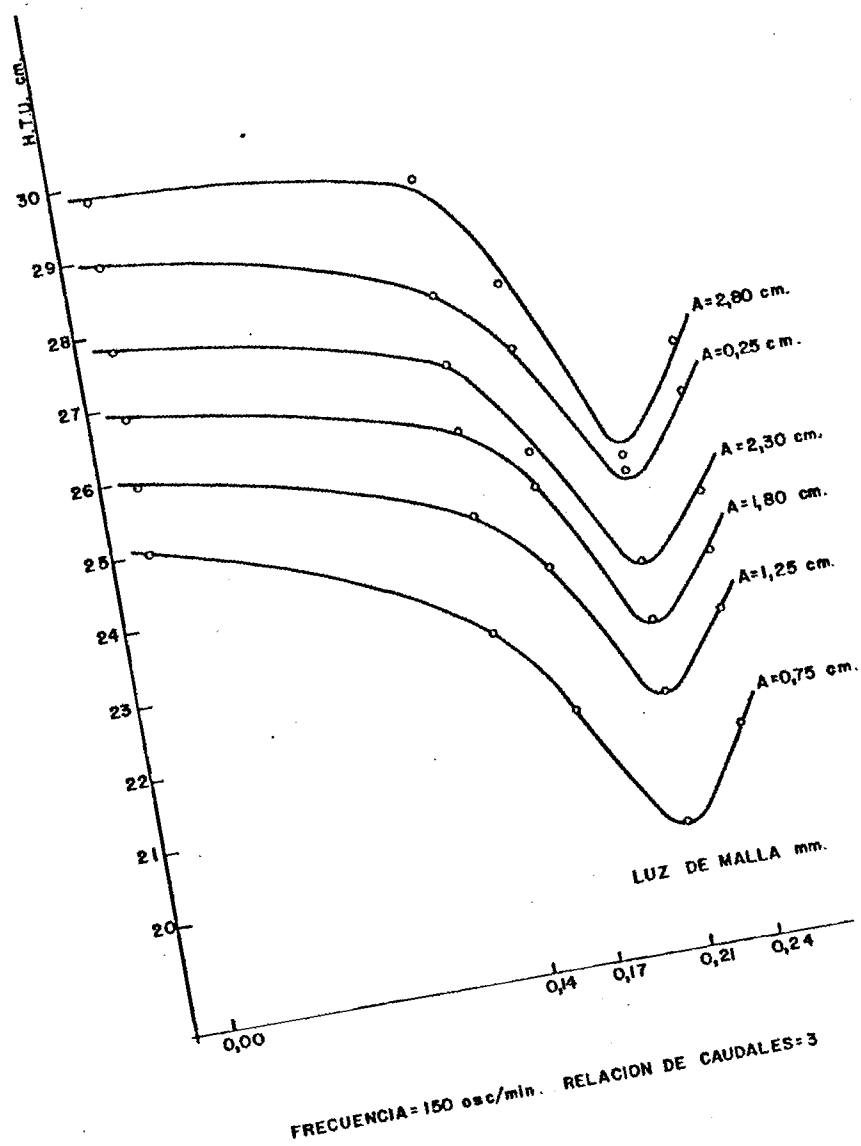
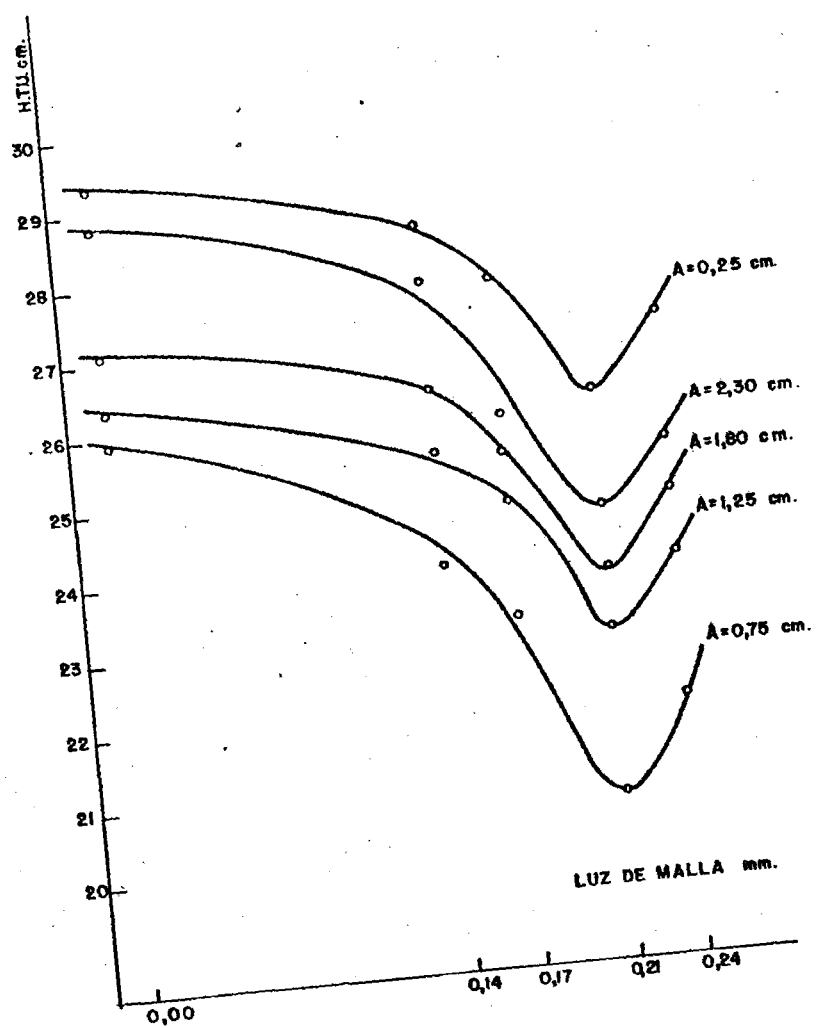
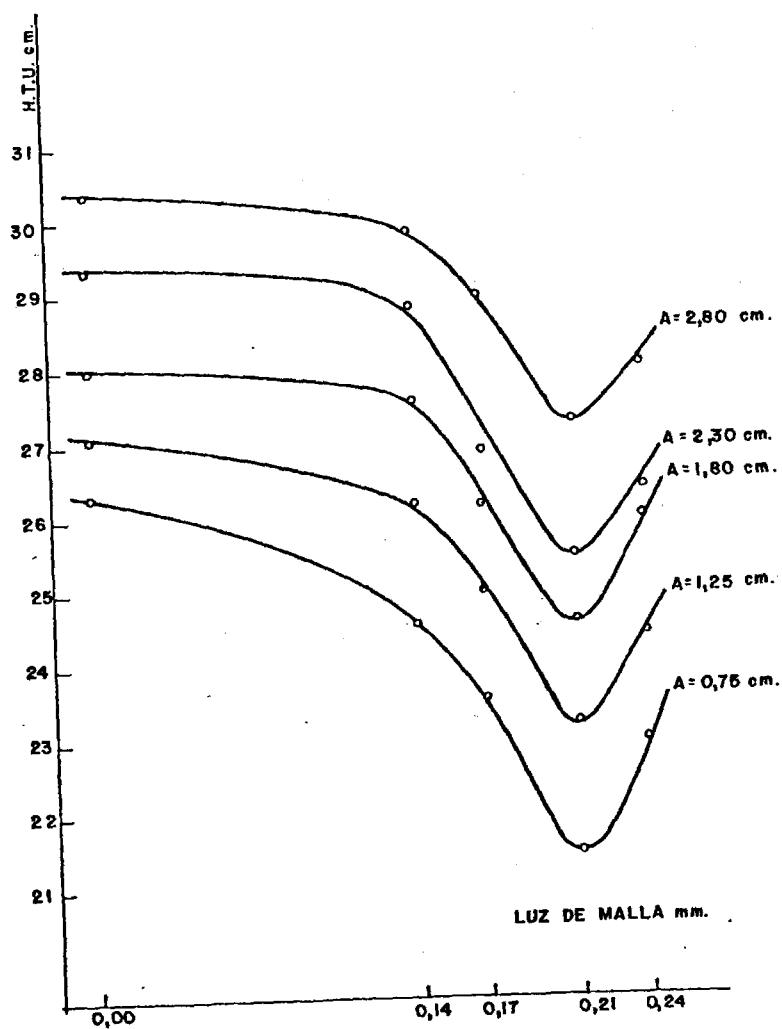


FIGURA 38.



FRECUENCIA = 174 osc./min. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 39



FRECUENCIA = 208 osc/min. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 40

TABLA Nº. 24

H.T.U. PARA DISTINTAS MALLAS

AMPLITUD 1

L (mm.)	F1 H.T.U.	F2 H.T.U.	F3 H.T.U.	F4 H.T.U.	F5 H.T.U.
0,00	34,26	32,05	28,96	29,34	30,37
0,14	33,96	31,49	27,76	28,52	29,81
0,17	33,96	30,64	26,84	27,76	28,96
0,21	31,77	23,52	25,01	26,14	27,26
0,24	33,96	29,81	25,92	27,07	28,0

VENTAJA RELATIVA SOBRE EL ANILLO RASCHIG

AMPLITUD 1

L (mm.)	F1 V	F2 V	F3 V	F4 V	F5 V
0,00	1,0000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,14	1,0088	1,017	1,043	1,028	1,018
0,17	1,0088	1,046	1,078	1,056	1,049
0,21	1,0783	1,123	1,157	1,122	1,114
0,24	1,0088	1,061	1,117	1,083	1,084

TABLA Nº. 25

H.T.U. PARA DISTINTAS MALLAS

AMPLITUD 2

L (mm.)	F1 H.T.U.	F2 H.T.U.	F3 H.T.U.	F4 H.T.U.	F5 H.T.U.
0,00	27,76	26,62	25,01	25,92	26,32
0,14	26,32	24,77	23,12	23,96	24,56
0,17	24,56	23,73	21,96	23,19	23,57
0,21	23,12	21,99	20,18	20,74	21,43
0,24	23,96	23,19	21,43	21,99	22,96

VENTAJA RELATIVA SOBRE EL ANILLO RASCHIG

AMPLITUD 2

L (mm.)	F1 V	F2 V	F3 V	F4 V	F5 V
0,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,14	1,054	1,074	1,081	1,081	1,071
0,17	1,130	1,121	1,138	1,117	1,116
0,21	1,200	1,210	1,239	1,249	1,228
0,24	1,158	1,147	1,167	1,178	1,146

TABLA Nº. 26

H.T.U. PARA DISTINTAS MALLAS

AMPLITUD 3

L (mm.)	F1 H.T.U.	F2 H.T.U.	F3 H.T.U.	F4 H.T.U.	F5 H.T.U.
0,00	28,52	27,26	25,92	26,32	27,07
0,14	27,56	26,32	24,77	25,46	26,14
0,17	26,84	25,46	23,96	24,77	25,01
0,21	25,46	23,73	21,99	22,97	23,19
0,24	26,32	24,77	22,97	23,96	24,39

VENTAJAS RELATIVAS SOBRE EL ANILLO RASCHIG

AMPLITUD 3

L (mm.)	F1 V	F2 V	F3 V	F4 V	F5 V
0,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,14	1,034	1,035	1,046	1,033	1,035
0,17	1,062	1,070	1,081	1,062	1,082
0,21	1,120	1,143	1,178	1,145	1,167
0,24	1,082	1,100	1,128	1,098	1,109

TABLA Nº. 27

H.T.U. PARA DISTINTAS MALLAS

AMPLITUD 4

L (mm.)	F1 H.T.U.	F2 H.T.U.	F3 H.T.U.	F4 H.T.U.	F5 H.T.U.
0,00	30,64	28,96	26,84	27,07	28,00
0,14	29,31	28,00	25,92	26,32	27,56
0,17	28,96	27,26	25,01	25,46	26,14
0,21	26,84	25,01	22,97	23,73	24,56
0,24	28,00	26,32	23,73	24,77	25,92

VENTAJA RELATIVA SOBRE EL ANILLO RASCHIG

AMPLITUD 4

L (mm.)	F1 V	F2 V	F3 V	F4 V	F5 V
0,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,14	1,027	1,034	1,035	1,028	1,016
0,17	1,056	1,062	1,073	1,063	1,071
0,21	1,141	1,157	1,168	1,140	1,140
0,24	1,094	1,100	1,131	1,092	1,080

TABLA Nº. 28

H.T.U. PARA DISTINTAS MALLAS

AMPLITUD 5

L (mm.)	F1 H.T.U.	F2 H.T.U.	F3 H.T.U.	F4 H.T.U.	F5 H.T.U.
0,00	32,43	29,81	27,76	28,80	29,38
0,14	31,77	28,96	26,84	27,76	28,80
0,17	30,64	28,00	25,46	25,92	26,84
0,21	28,00	25,92	23,73	24,56	25,46
0,24	28,96	27,07	24,56	25,46	26,32

VENTAJAS RELATIVA SOBRE EL ANILLO RASCHIG

AMPLITUD 5

L (mm.)	F1 V	F2 V	F3 V	F4 V	F5 V
0,00	1,0000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,14	1,020	1,029	1,030	1,037	1,020
0,17	1,053	1,064	1,090	1,111	1,094
0,21	1,157	1,150	1,169	1,172	1,153
0,24	1,119	1,101	1,130	1,131	1,116

TABLA N°. 29

H.T.U. PARA DISTINTAS MALLAS

AMPLITUD 6

L (mm.)	F1 H.T.U.	F2 H.T.U.	F3 H.T.U.	F4 H.T.U.
0,00	33,96	31,77	29,81	31,22
0,14	33,96	31,22	29,34	30,64
0,17	32,43	29,81	27,76	28,80
0,21	29,34	27,26	25,22	26,14
0,24	30,64	28,96	26,62	27,56

VENTAJA RELATIVA SOBRE EL ANILLO RASCHIG

AMPLITUD 6

L (mm.)	F1 V	F2 V	F3 V	F4 V
0,00	1,000	1,000	1,000	1,000
0,14	1,000	1,017	1,016	1,018
0,17	1,047	1,065	1,073	1,084
0,21	1,157	1,165	1,181	1,194
0,24	1,108	1,097	1,119	1,132

TABLA Nº. 30

H.T.U. PARA DISTINTAS MALLAS

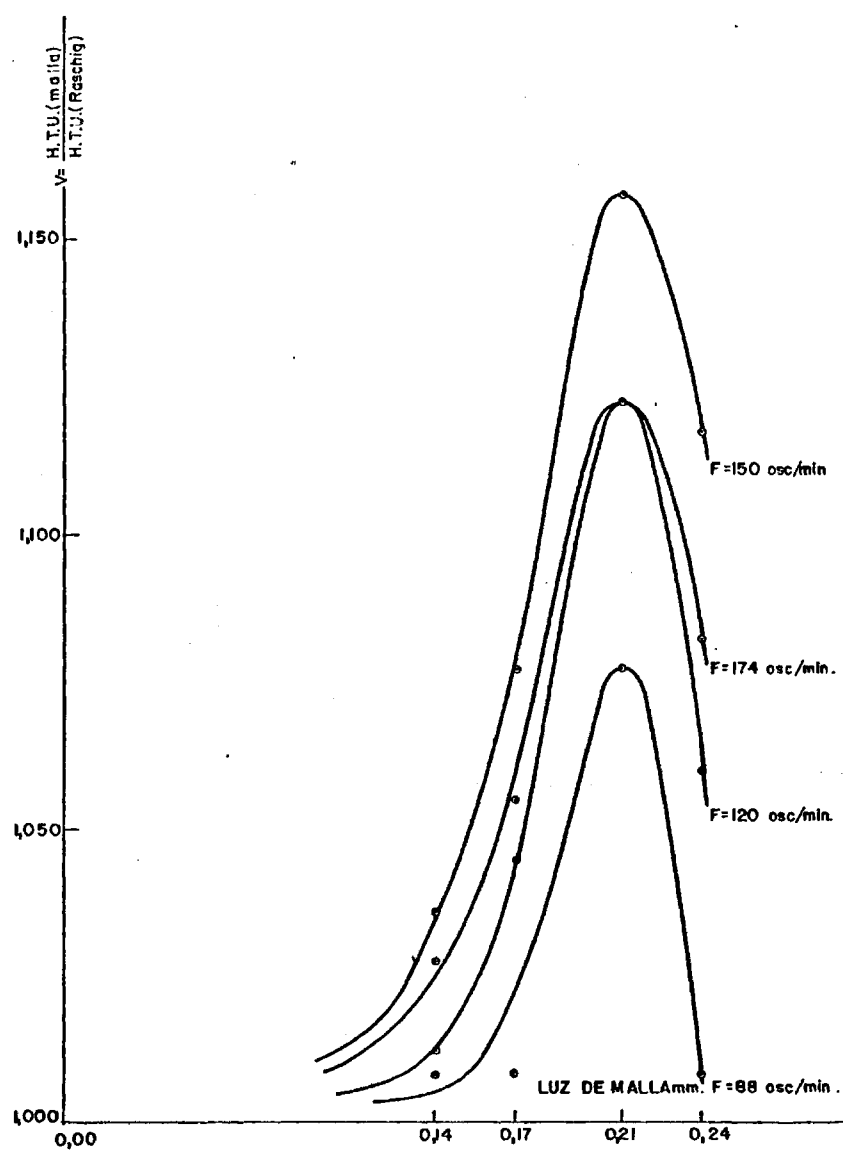
AMPLITUD 7

L (mm.)	F1 H.T.U.	F2 H.T.U.	F3 H.T.U.
0,00	35,93	35,22	33,96
0,14	35,93	34,26	32,69
0,17	35,22	32,97	31,49
0,21	31,49	29,34	27,26
0,24	32,97	31,49	29,34

VENTAJA RELATIVA SOBRE EL ANILLO RASCHIG

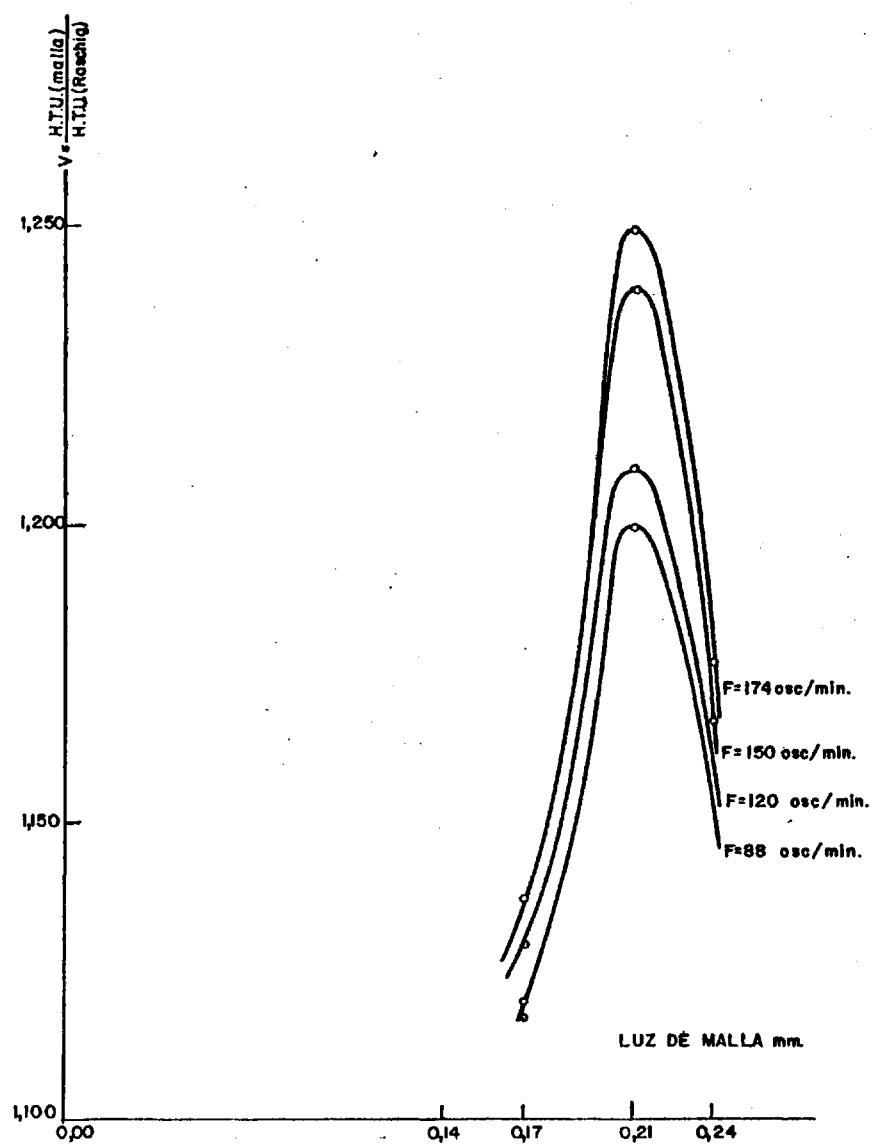
AMPLITUD 7

L (mm.)	F1 V	F2 V	F3 V
0,00	1,000	1,000	1,000
0,14	1,000	1,028	1,038
0,17	1,020	1,068	1,078
0,21	1,140	1,200	1,245
0,24	1,089	1,118	1,157



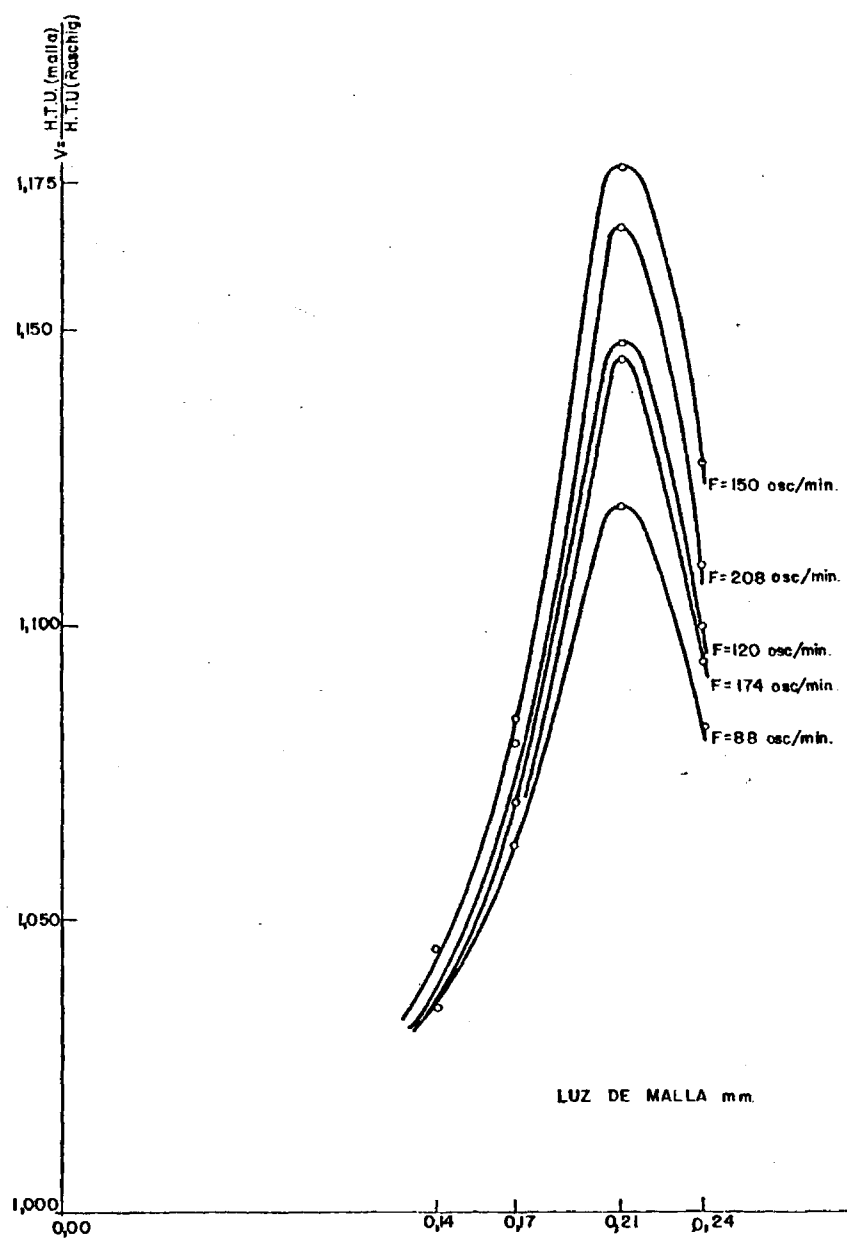
AMPLITUD = 0,25 cm. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 41



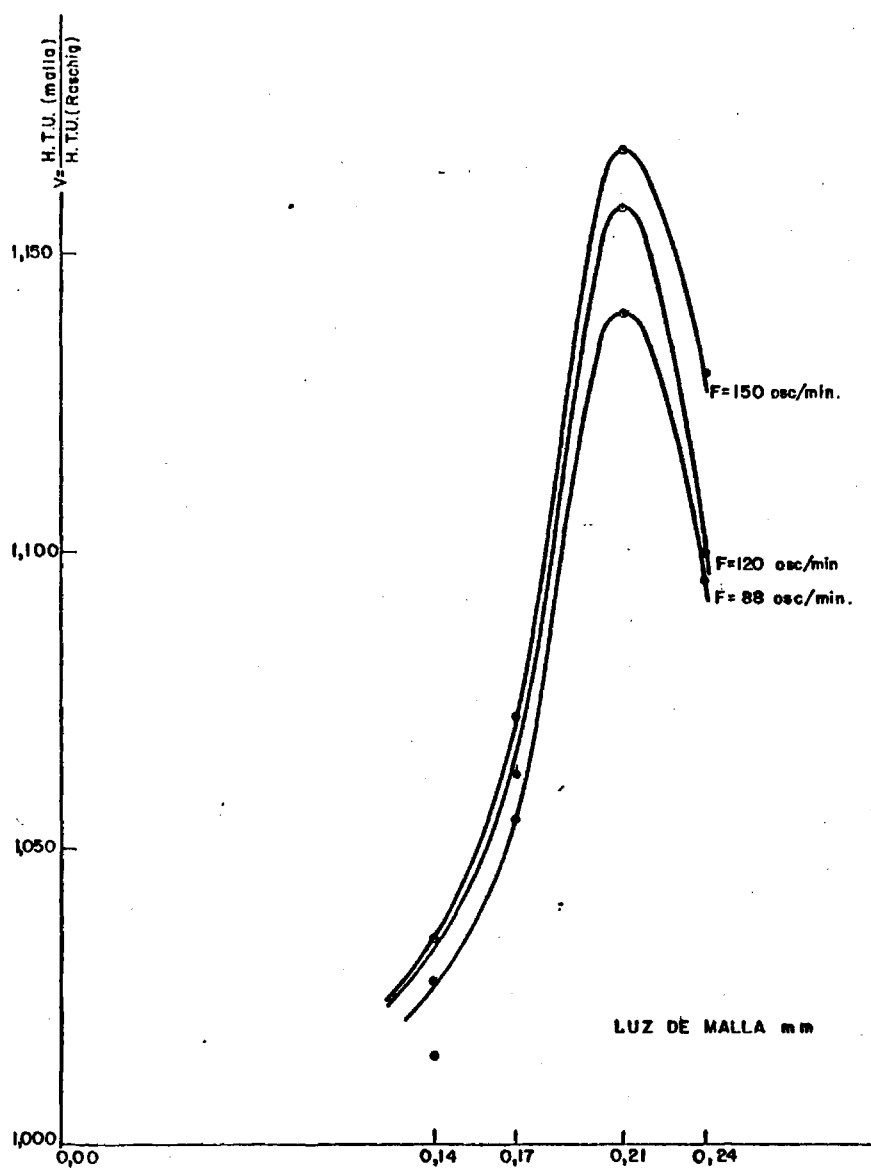
AMPLITUD=0,75 cm RELACION DE CAUDALES= 3

FIGURA 42



AMPLITUD = 1,25 cm. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 43



AMPLITUD = 1,80 cm RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 44

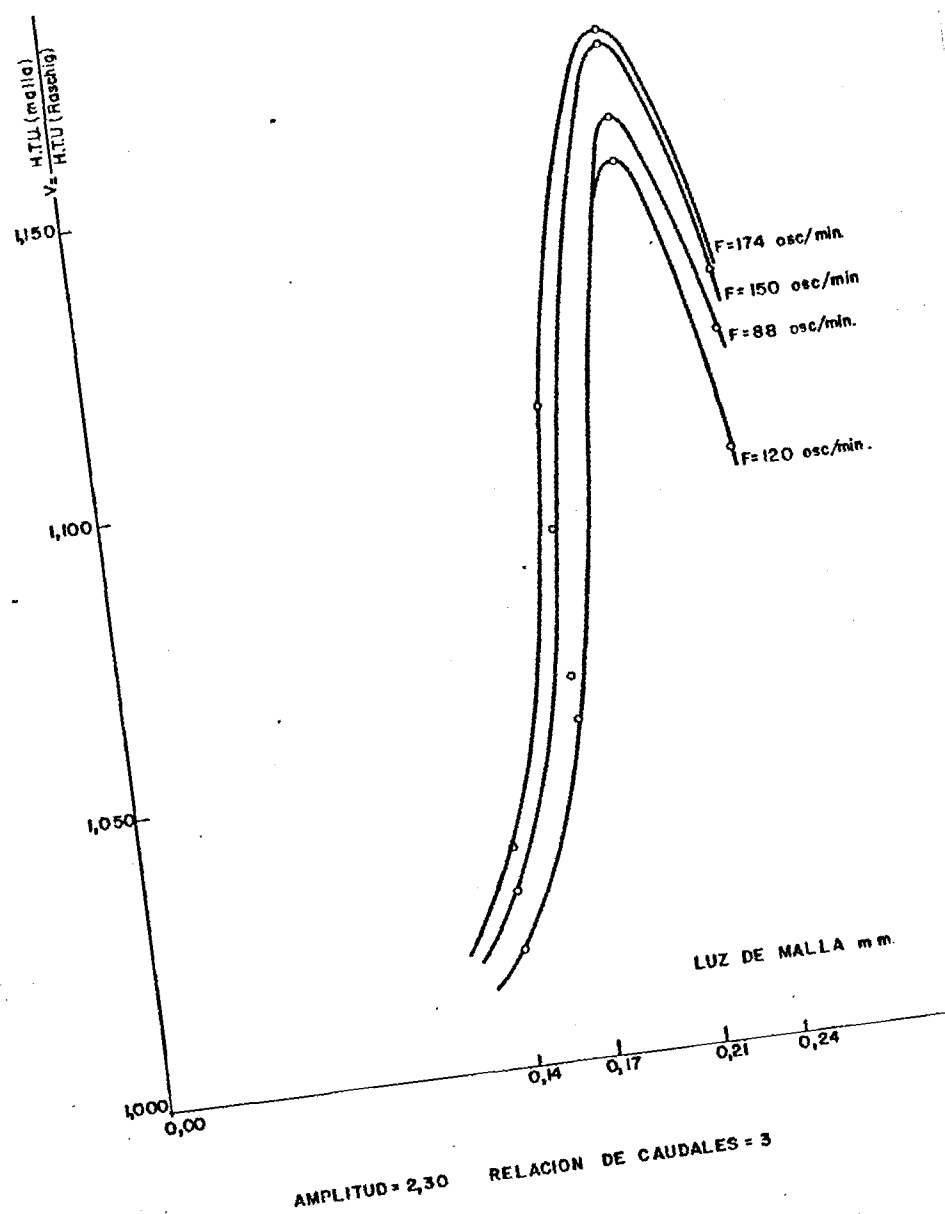
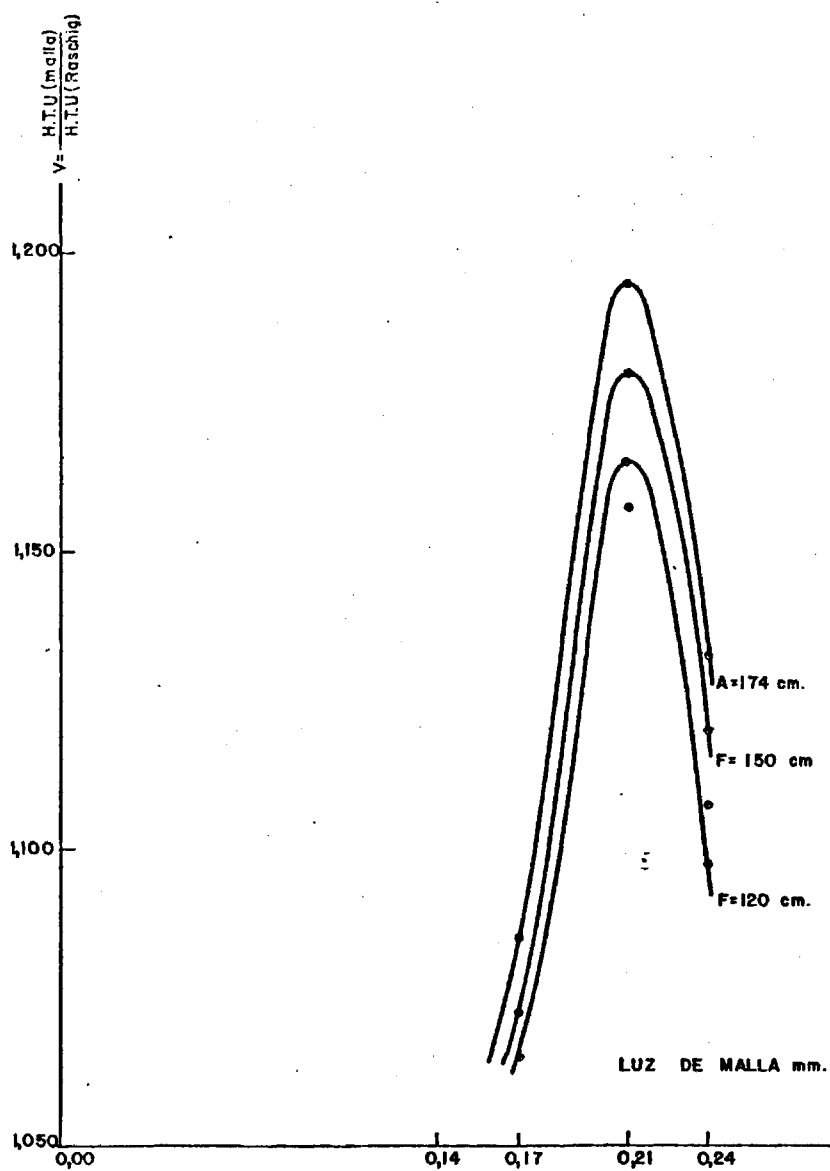
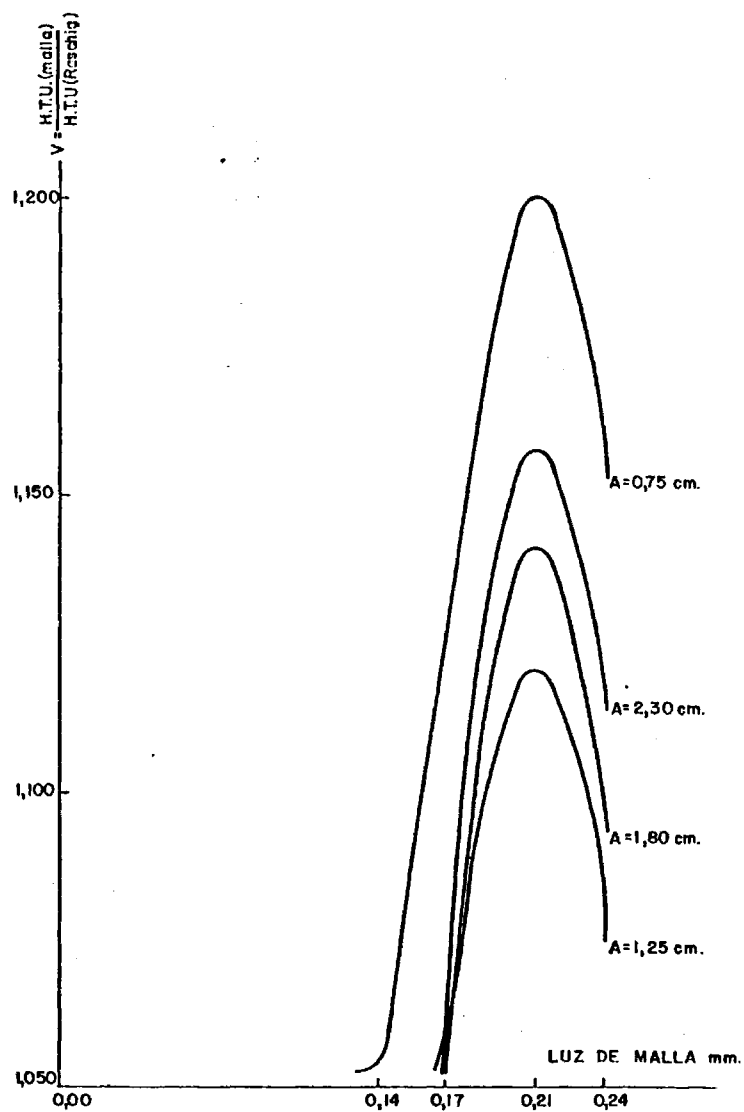


FIGURA 45



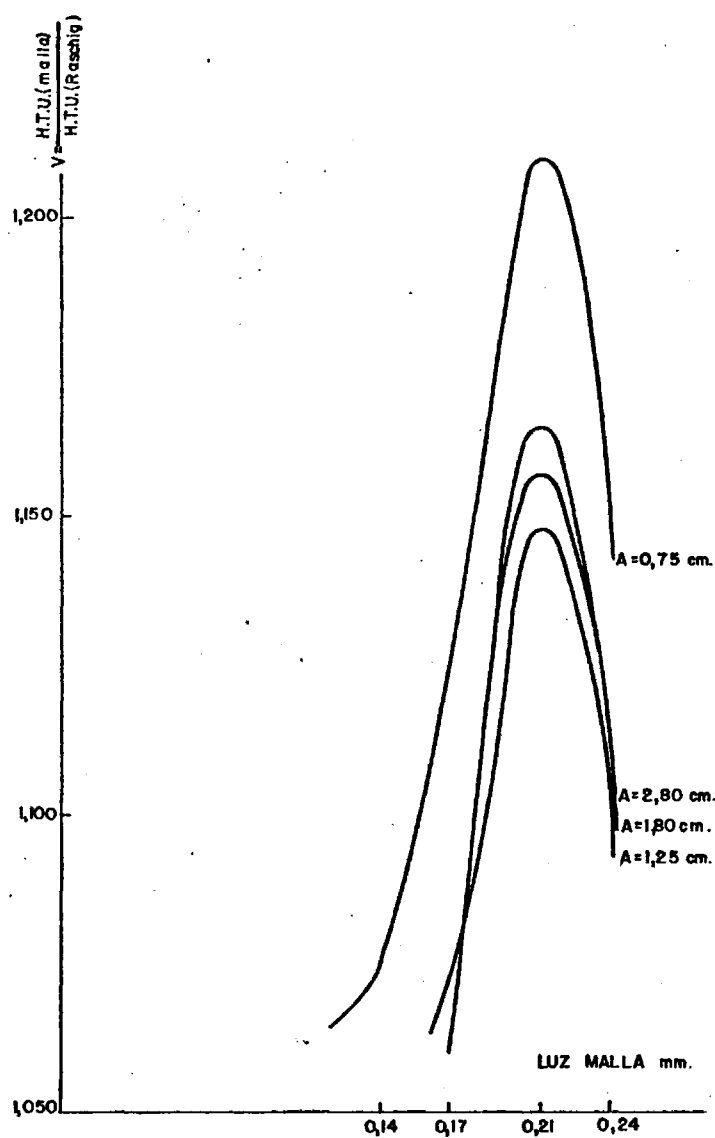
AMPLITUD= 2,80 cm. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 46



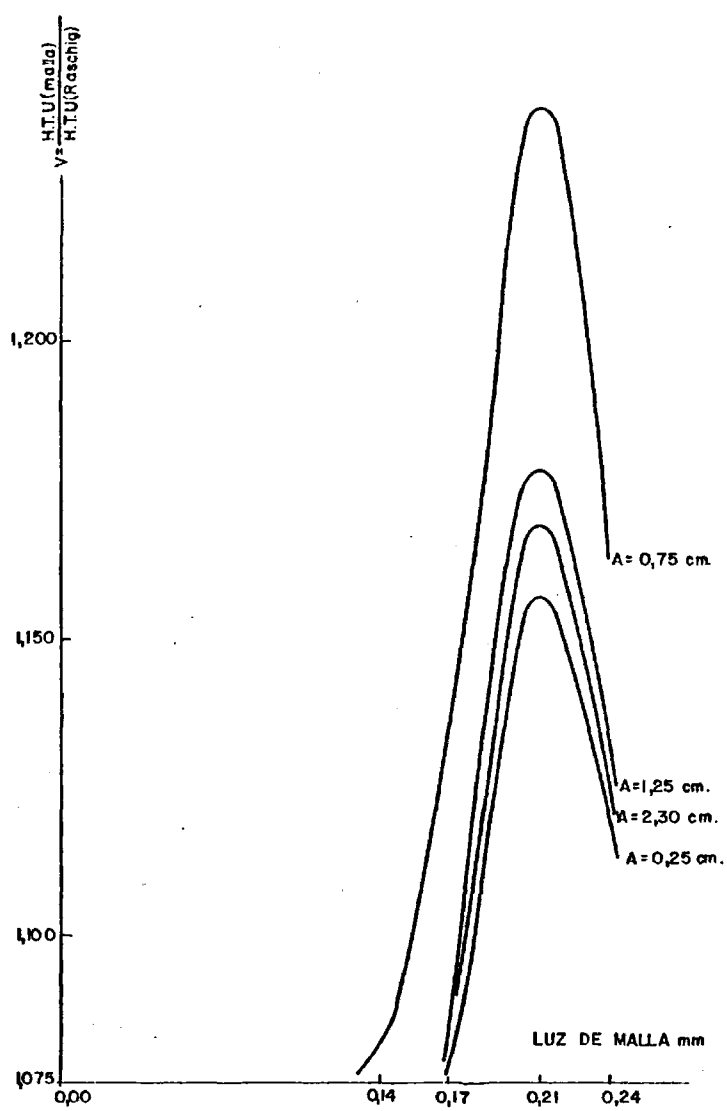
FRECUENCIA = 88 osc/min. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 47



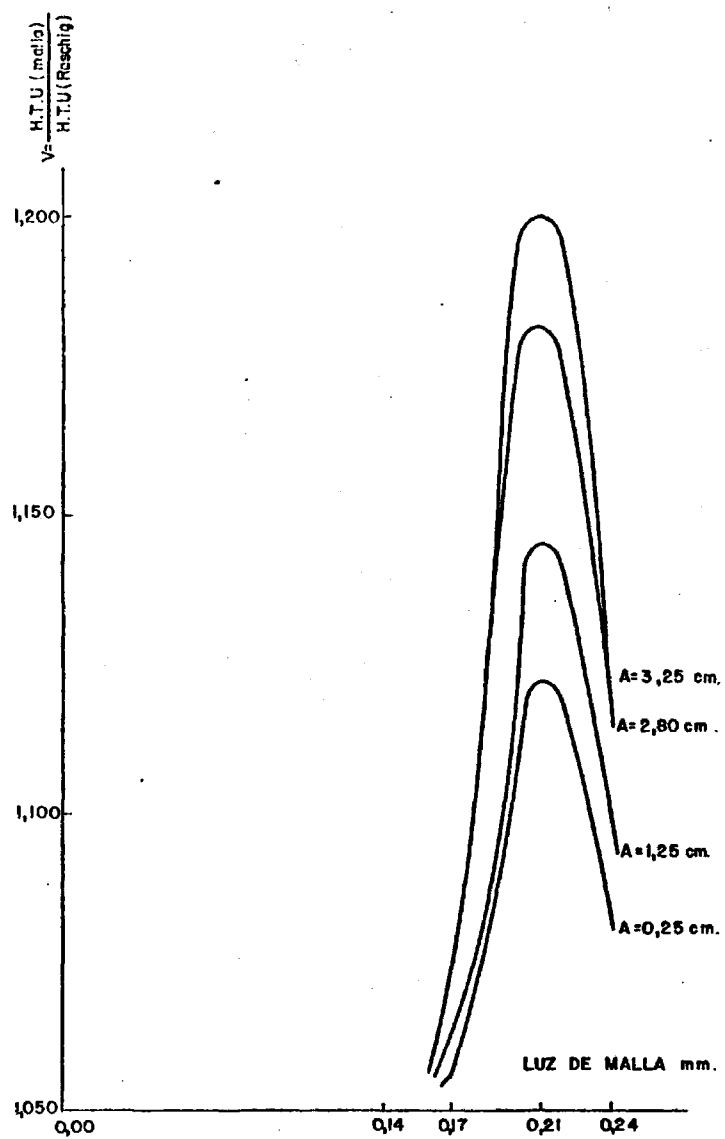
FRECUENCIA = 120 osc/mh. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 48



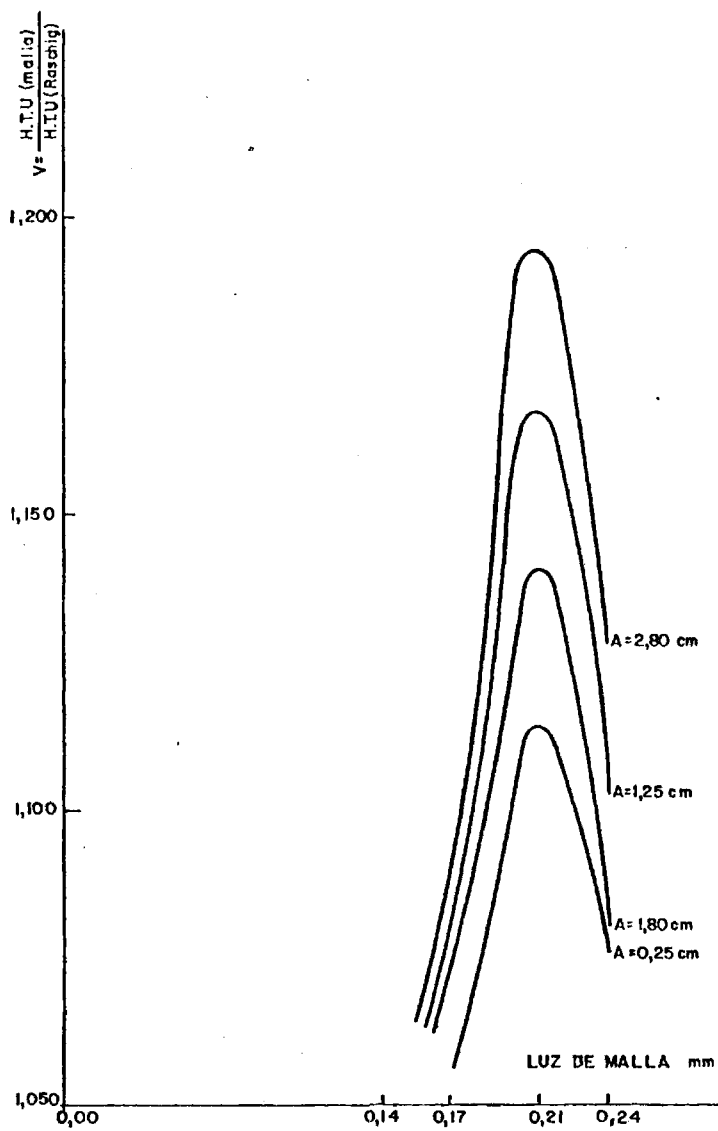
FRECUENCIA = 150 osc/mh. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 49



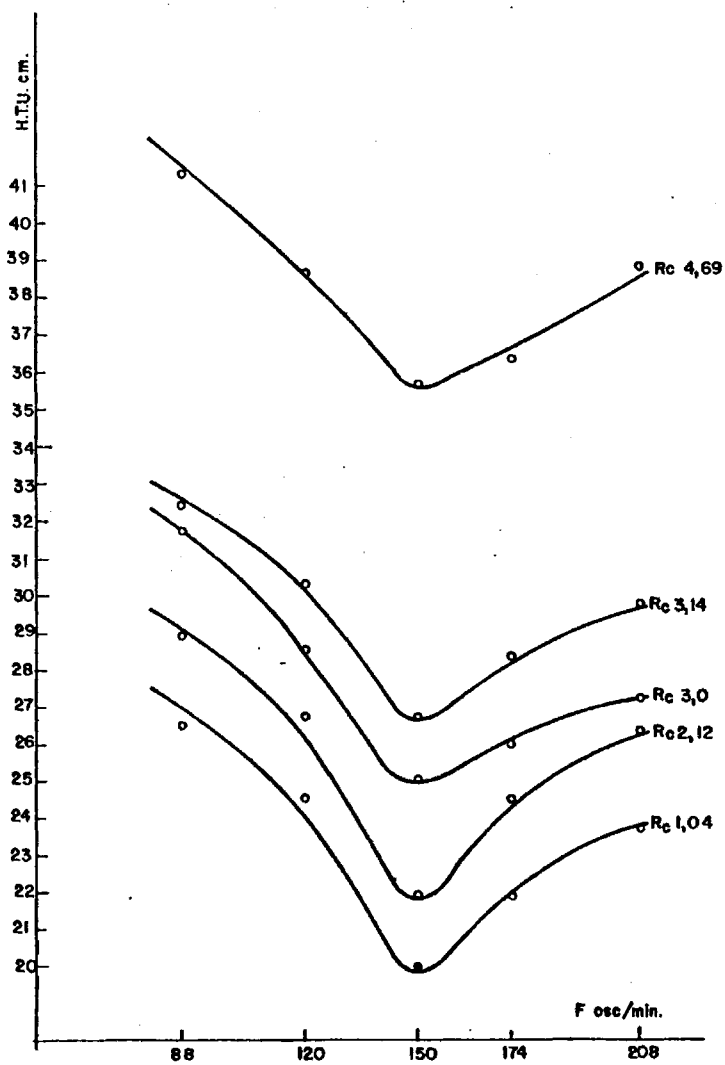
FRECUENCIA 174 osc./min. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 50



FRECUENCIA = 208 osc/min. RELACION DE CAUDALES = 3

FIGURA 51



AMPLITUD = 0,25 cm. MALLA 80

FIGURA 52

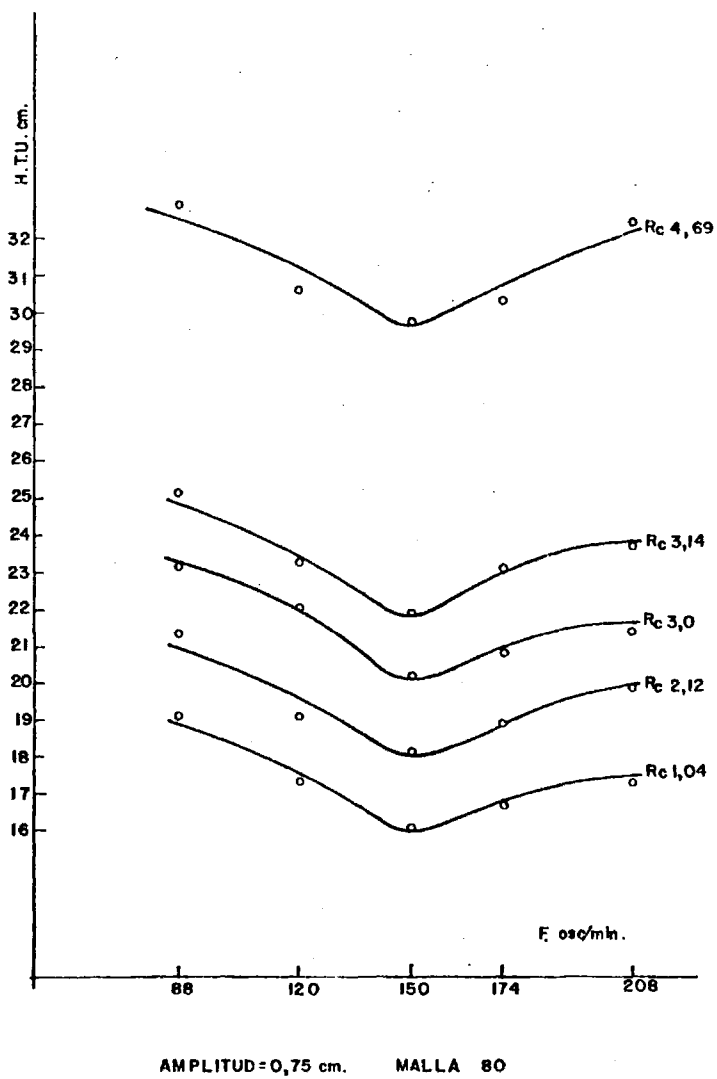
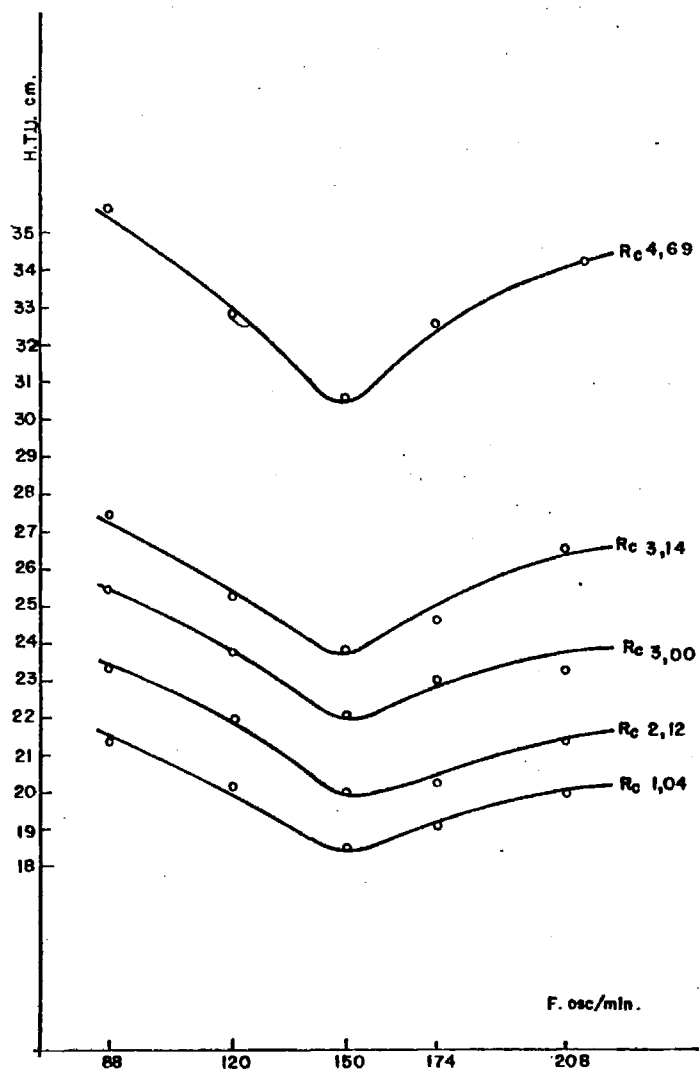


FIGURA 53



AMPLITUD = 1,25 cm. MALLA 80

FIGURA 54

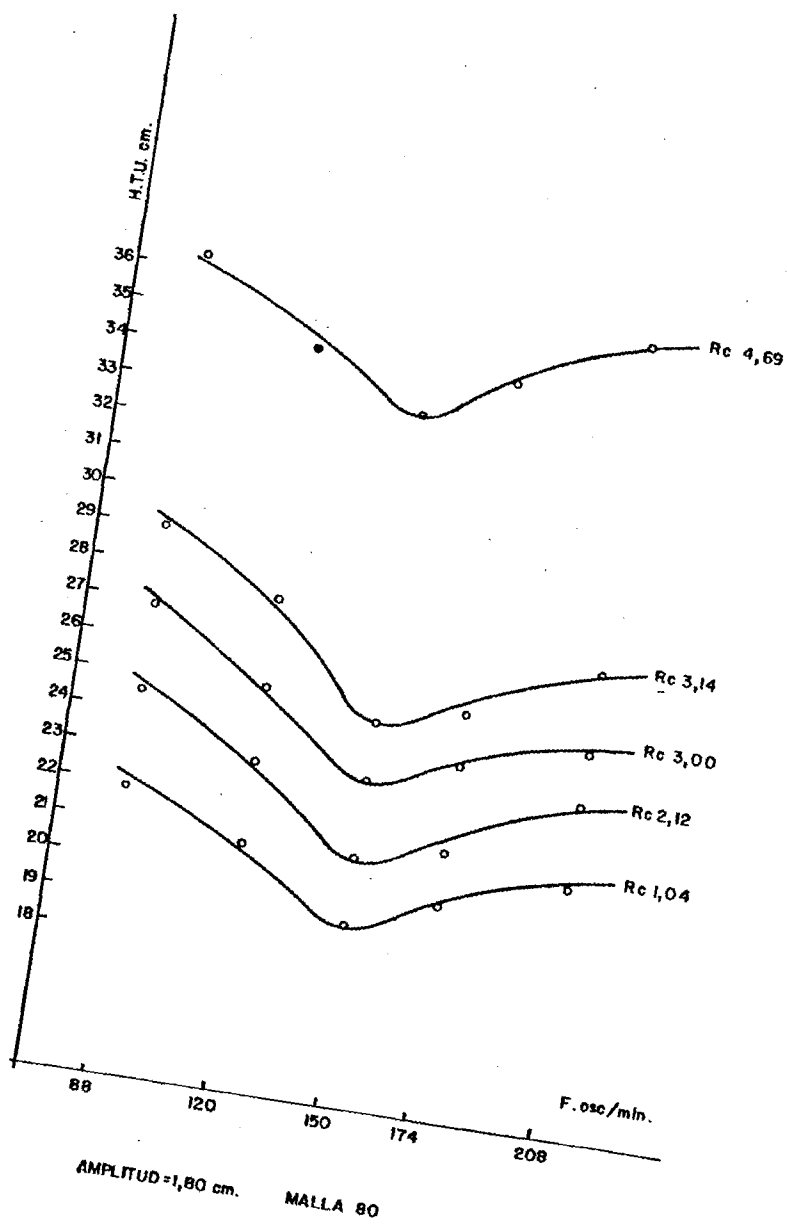
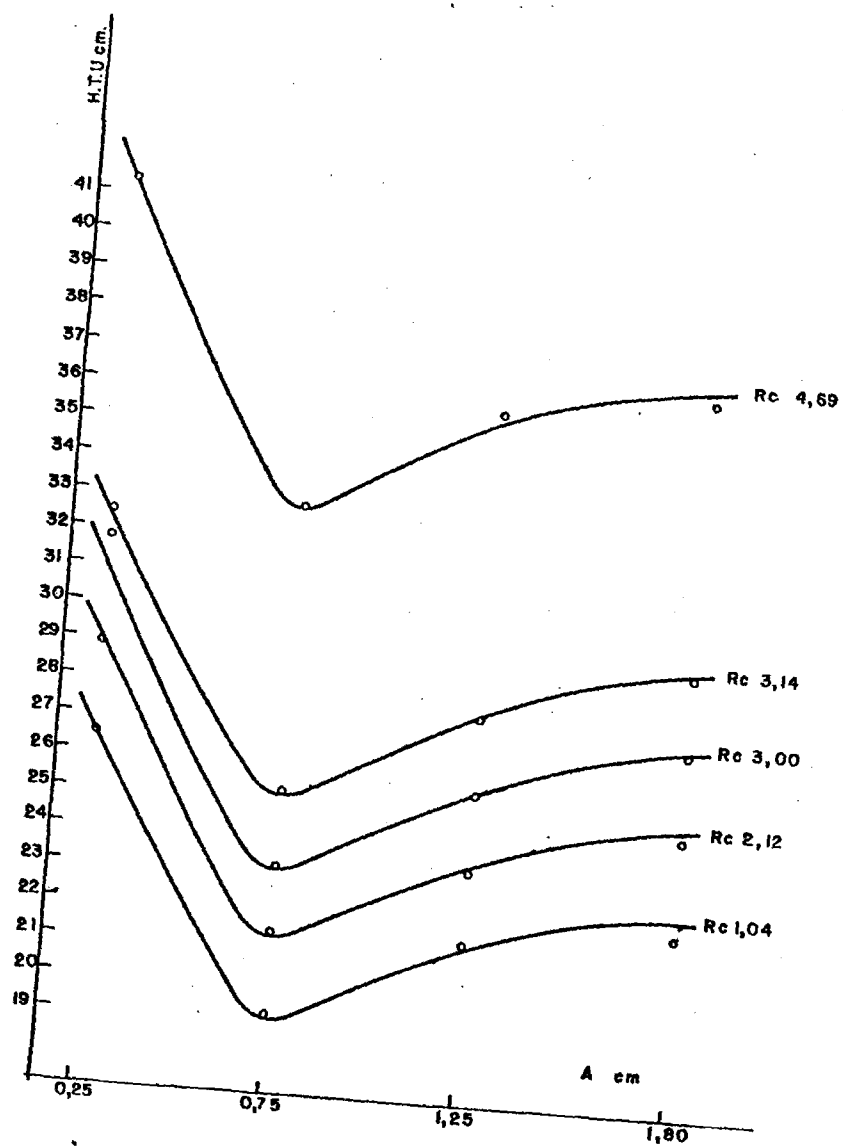
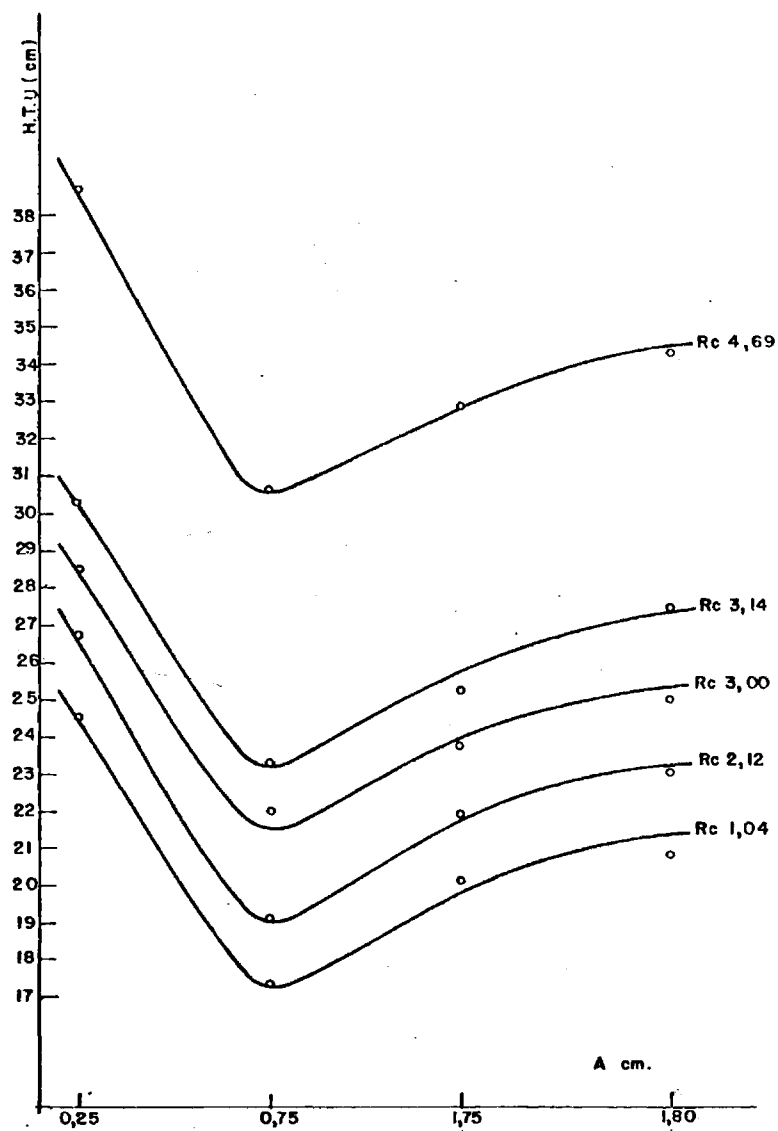


FIGURA 55



FRECUENCIA = 88 osc/min. MALLA 80

FIGURA 56



PRECUENCIA = 120 osc/min. MALLA = 80

FIGURA 57

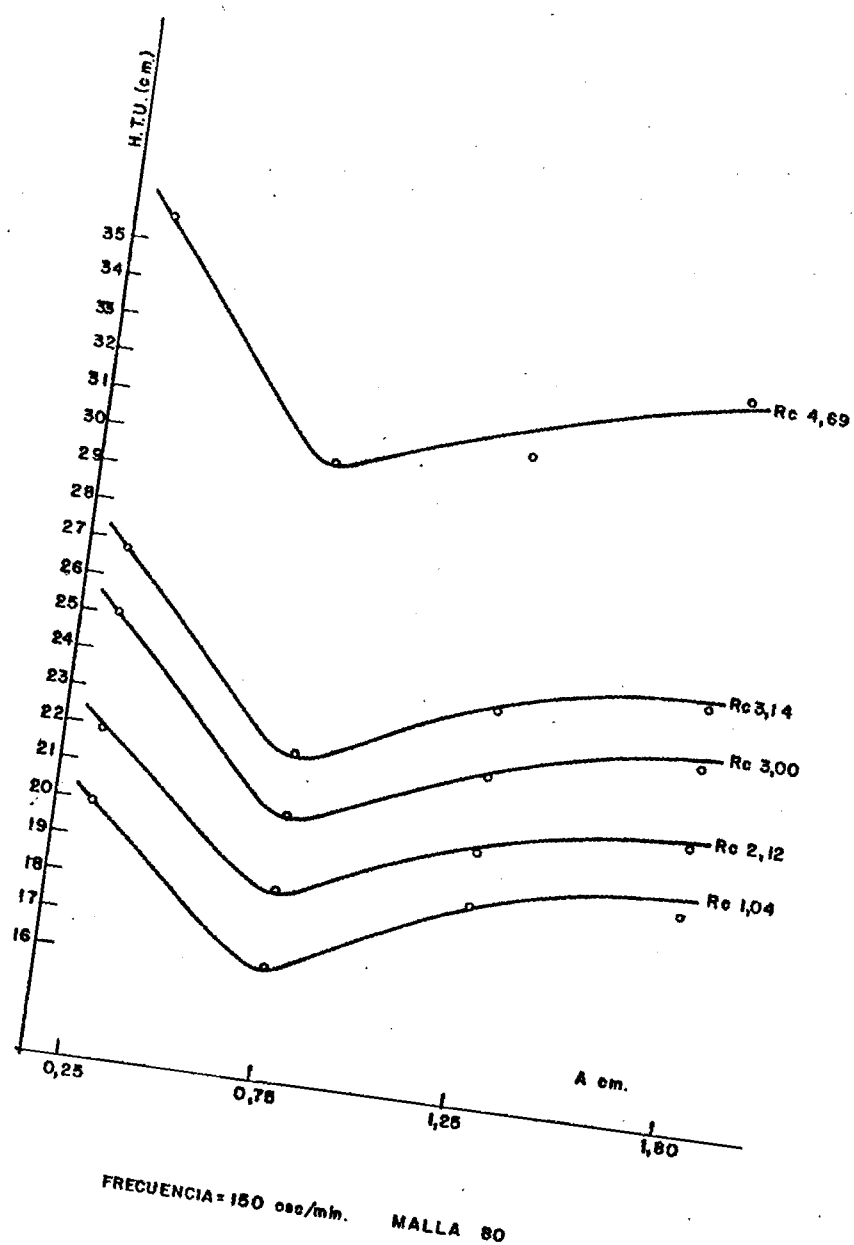
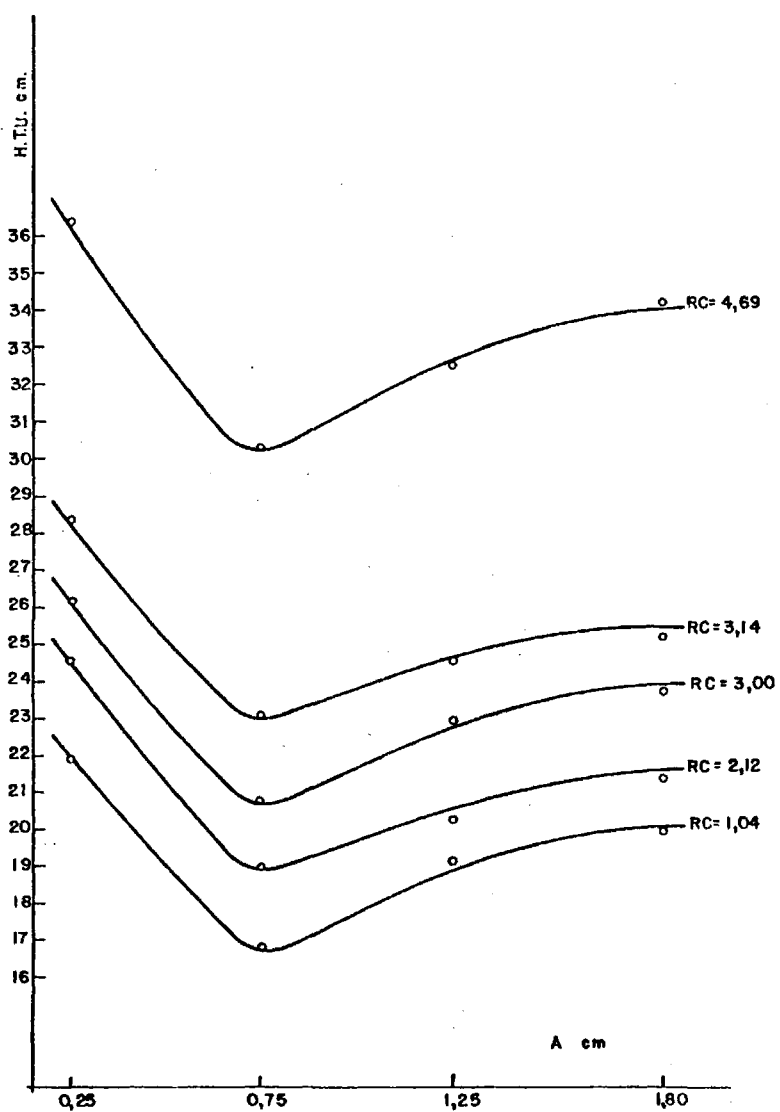
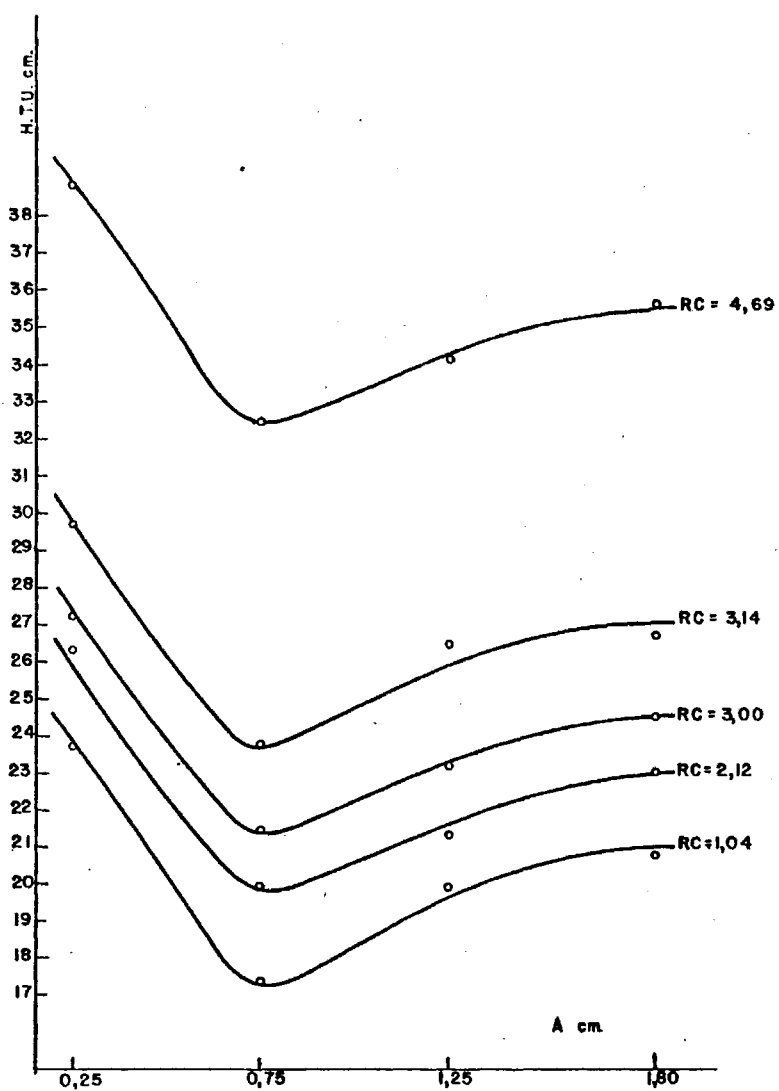


FIGURA 58



FRECUENCIA = 174 osc/min. MALLA 80

FIGURA 59



FRECUENCIA= 208 osc/min. MALLA 80

FIGURA 60

DISCUSION E INTERPRETACION DE RESULTADOS

1º. Eficacia absoluta de las mallas

Consideraciones previas. Como se sabe, en una columna sin relleno, las gotas dispersas siguen una trayectoria rectilínea a medida que recorren la columna a través de la fase continua. La velocidad de caída de las gotas está determinada por la resultante de la gravedad y el empuje hidrostático. El contacto entre ambas fases -la disolución a refinar y el disolvente extractor-, tiene lugar en la superficie de las gotas durante su recorrido a lo largo de la torre.

Por el contrario, cuando la columna está rellena de anillos Roschig, la trayectoria ya no es rectilínea, sino que sigue un camino sinuoso y zigzagueante, con lo que aumenta el espacio recorrido, y en consecuencia, el tiempo de contacto entre las fases. El resultado es que mejora en alto grado el rendimiento de la extracción.

En el caso de anillos malla, aumentan las posibilidades de laberinto, pues con cierta frecuencia las gotas pasan a través de los pares perforados de los cilindros. Si la columna es además pulsante, la energía de agitación hace que la malla sea atravesada con más frecuencia por la fase dispersa y, de este modo, en ciertos casos se reduce el tamaño de las gotas. La disminución del tamaño de las gotas supone, por una parte, aumento de la superficie de contacto interfásico y, por otra, mayor resistencia a la caída de cada gota a través del líquido dispersante, por razón de la viscosidad, ante un mayor rozamiento por incremento del área de contacto. Es decir, el rendimiento mejora, por crecer la posibilidad de transferencia de soluto, al aumentar la superficie de contacto interfásico y el tiempo de residencia.

Hoy que tener en cuenta que la agitación creada por una acción pulsante produce a partir de ciertos valores, una turbulencia en el seno de la columna que disminuye la velocidad de los fluidos y renueva la capa límite de la fase dispersante que circunda a las gotas. Esto constituye otro doble factor de mejora de la extracción.

Otros fenómenos que se pueden apreciar directamente en la columna son los siguientes: la fase pesada, que en nuestro caso es la dispersa y entra en la torre por la parte superior a través de una alcachofa de vidrio con orificios muy pequeños, pueden observarse que las gotas formadas tienen unos diámetros bastante mayores que

los orificios de salida de la mencionada alcachofa: su tamaño sin duda, está determinado por la tensión interfacial de los líquidos y su velocidad relativa.

Cuando las frecuencias de agitación son pequeñas, se ven algunas - gotas que han quedado en el interior de un anillo, que por azar se ha orientado horizontalmente con la base próxima a la pared de la columna. Estas gotas no se deslizan hacia abajo, debido a la posición del cilindro y oscilan durante bastante tiempo de arriba abajo a igual ritmo que la pulsación del agitador, es decir, con la misma frecuencia. No hay duda que el tiempo de residencia de estas gotas y otras en posiciones análogas es muy grande y que son forzadas contra la malla en los extremos inferior y superior de la oscilación. Este fenómeno no es perceptible con grandes amplitudes de oscilación. Pero sí lo es otro fenómeno contrario, que se da con frecuencias elevadas: las gotas descienden mucho más rápidamente, tanto por ser forzadas a atravesar las paredes, como por favorecer el descenso por los vericuetos inclinados del relleno. Este efecto acorta obviamente el tiempo de residencia.

Un tercer fenómeno, observable al operar con amplitudes grandes, es que en la parte baja de la columna las gotas son mucho mayores. Esta coalescencia es fácil de explicar por la tensión interfacial, pues - la superficie total de un conjunto de gotas tiende a disminuir, ya - que supone disminución de la energía potencial y, en consecuencia, - dos gotas que choquen se fundirán en una. El número de choques viene favorecido por las amplitudes grandes de oscilación. Todo esto tiende a reducir el índice de extracción.

Es interesante comparar el comportamiento de anillos de diversas mallas con los Raschig en análogas condiciones de trabajo. De esta manera cabe discriminar los efectos imputables a la acción de la malla y los que proceden simplemente de la pulsación.

Todas estas consideraciones ayudan a interpretar los resultados experimentales, en particular, los reflejados en las gráficas que recogen la variación de la H.T.U. en función de las diferentes variables.

A continuación interpretamos las gráficas correspondientes a la:

Variación de la H.T.U. en el anillo Raschig y en cada tipo de malla:

- a) En función de la frecuencia de pulsación
- b) En función de la amplitud

Variación de la H.T.U. según la luz de malla:

- c) A distintas frecuencias y amplitud constante
- d) A distintas amplitudes y frecuencia constante

a) Variación de la H.T.U. con la frecuencia

En las gráficas 8 a 13 y 19 a 23, están representadas las funciones $H.T.U. = f(F)$, para cada malla y amplitud constante.

En las gráficas 19 a 23, se observa como al aumentar la frecuencia de pulsación, disminuye la H.T.U. hasta un valor mínimo correspondiente a la frecuencia F_3 ; sin embargo, al seguir aumentando la frecuencia disminuye la eficacia, aunque con menor incremento. Al ir aumentando la frecuencia, aumenta la agitación y por lo tanto el contacto interfásico es mayor, con lo cual aumenta la eficacia; pero, al sobrepasar el valor F_3 de la frecuencia se favorecen los factores adversos de la extracción, como son la mayor rapidez de caída de las gotas y la coalescencia entre ellas.

También observamos en los gráficos ultimamente dichas, que la mayor eficacia corresponde a amplitudes pequeñas A_2 , lo cual ratifica la importancia de la agitación mecánica, pero sin sobrepasar - cierto límite.

En las gráficas 8 a 13 ambas inclusive, observamos como la mayor extracción corresponde a mallas intermedias (S.A.E. 80)

Las mallas gruesas o muy finas, cuyas curvas se acercan a las del relleno Raschig, permiten deducir que en estos casos la red metálica influye poco en el proceso: en las gruesas porque el tamaño de las gotas no disminuye al travesar el retículo de las paredes, y en las finas, porque la agitación no comunica a las gotas energía suficiente para atravesar la malla, y en definitiva su comportamiento es parecido al de los anillos continuos.

Pero las mallas intermedias en cambio, permiten que con una energía suficiente, lograda a partir de ciertas amplitudes, las gotas - - atraviesen la red metálica y reduzcan su tamaño, con los efectos indicados anteriormente de aumento del área de transferencia y del tiempo de contacto. La consecuencia es que la eficacia extractiva mejora considerablemente.

b) Variación de la H.T.U. con la amplitud

Las gráficas 14 a 18 y 24 a 28, ofrecen las curvas representativas de $H.T.U. = f(A)$ a frecuencia constante, y para cada malla. Las gráficas son las mismas del caso anterior pero agrupadas de esta otra forma, para facilitar la comprensión del fenómeno.

Puede apreciarse que al aumentar la amplitud, disminuye la altura del elemento de transferencia hasta llegar a un mínimo (A_2); al seguir aumentando la amplitud, disminuye la eficacia de extracción

pero con menor incremento que en el tramo anterior de las curvas. Se confirma lo dicho en el caso anterior, o sea, a pequeñas amplitudes (A2) y frecuencias intermedias (F3), la eficacia de extracción es óptima, mientras que al aumentar la agitación se favorecen los factores adversos de la extracción, como son la mayor rapidez de caída de las gotas y la coalescencia entre ellos.

Para explicar el efecto de la malla en la variación de amplitud, tenemos que para luces muy grandes o muy pequeñas la eficacia -- aumenta ligeramente respecto del anillo Raschig; en conclusión, las mallas finas y gruesas ejercen una influencia escasa y las grandes amplitudes de pulsación no favorecen la extracción.

Pero los tipos intermedios de red, a partir de ciertas amplitudes, el grado de energía obliga a las gotas dispersas a atravesar el retículo, y se disgregan en otras menores. Este efecto favorable, no sólo contrarresta, sino que llega a superar los efectos -- adversos, observados en los casos anteriores, y, en definitiva, -- hace decrecer el valor de la H.T.U.

c) Variación de la H.T.U. con la luz de mallas o distintas frecuencias.

La tercera variable considerada es la luz de malla. En los gráficos 29 a 35 ambas inclusive, se encuentran las familias de curvas correspondientes a $H.T.U. = f(L)$. Cada curva corresponde a una -- frecuencia y toda la familia a una amplitud determinada.

En todas las curvas se observa, que al aumentar la luz de malla, -- disminuye la H.T.U. hasta alcanzar un valor mínimo correspondiente a la malla S.A.E. 80 (luz de malla 0,21 mm.).

La explicación es inmediata: el mínimo de las curvas $H.T.U. = f(L)$, indica unas condiciones especialmente favorables para la extracción. Como la posición del mínimo es muy fija, cabe deducir que depende -- casi exclusivamente del tamaño de la malla y es prácticamente independiente de las variables de pulsación: la amplitud y la frecuencia. Es un efecto de las tensiones interfaciales del sistema ternario, empleado en la extracción.

La profundidad de los mínimos está en estrecha dependencia con la -- frecuencia, de acuerdo con la hipótesis sobre la penetración de las gotas por la red, pues, para una amplitud determinada, un mayor número de pulsaciones por unidad de tiempo, supone más energía comunicada al sistema, sin sobrepasar ciertos límites que favorecerían los factores adversos de la extracción, como se indicó anteriormente.

d) Variación de la H.T.U. con la luz de malla, a distintas amplitudes.

En las familias de curvas de las gráficas 36 a 40 ambas inclusive están representadas las funciones $H.T.U. = f(L)$, agrupadas de modo que cada grupo responde a una frecuencia y cada curva a una amplitud.

Las curvas tienen una forma similar a las del caso anterior, con lo cual se pueden sacar las mismas conclusiones, pero es de destacar sobre todo que los mejores rendimientos se encuentran en las amplitudes más pequeñas A2, sin duda por el mayor tiempo de residencia de las gotas y su menor coalescencia, como ya se indicó anteriormente. También es destacable que la posición de los mínimos es independiente de las variables de agitación y que la influencia de la amplitud en la profundidad del mínimo, o sea, la mejora del rendimiento extractivo, se debe a la mayor energía suministrada.

2º. Eficacia relativa de los anillos malla respecto de los anillos Raschig.

Para relacionar de una forma general los resultados experimentales obtenidos, se ha valorado el comportamiento de los anillos malla - comparándolo con el de los anillos Raschig en condiciones de trabajo iguales. Para ello se ha buscado la relación de los valores - absolutos de la unidad de transferencia H.T.U., de los anillos de malla y de los anillos Raschig:

$$\frac{(H.T.U.)_r}{(H.T.U.)_m} = V$$

que representa la eficacia relativa, índice de mejora o ventaja del empleo de los anillos de malla.

En las tablas 16 a 22 ambas inclusive, están recogidos los valores de la H.T.U. para las distintas mallas, y la ventaja relativa de los anillos malla sobre los anillos continuos.

En las gráficas 41 a 45 ambas inclusive, están representadas las familias de curvas correspondientes a cada amplitud y cada curva a una frecuencia.

Las gráficas 46 a 51 ambas inclusive, agrupan a las familias de curvas de la misma frecuencia, siendo el parámetro variable de una a otra la amplitud.

A la vista de las curvas mencionadas anteriormente, se deduce:

- 1º) Todos los valores de V son mayores que la unidad, luego siempre el anillo de malla es más eficaz que el Raschig, en las mismas condiciones de agitación,
 - 2º) Todos las curvas presentan asimetría con sesgo a la derecha, lo cual demuestra que las mallas gruesas presentan mayor ventaja que las finas. Esto es debido, a que en las mallas finas las gotas no pueden atravesar el retículo, y su comportamiento es parecido al de el anillo Raschig, mientras que en las mallas gruesas, las gotas atraviesan el retículo aunque sin reducir, su tamaño, suponiendo un aumento de las posibilidades del laberinto que han de recorrer las gotas, es decir, un mayor tiempo de residencia y, en consecuencia, un contacto interfásico más prolongado.
 - 3º) Las máximas ventajas corresponden a frecuencias grandes y amplitudes pequeñas, ratificando las conclusiones expuestas anteriormente.
 - 4º) La ventaja máxima corresponde en todos los casos a la malla -- S.A.E. 80, llegando a ser de un 124%.
- 3º. Influencia de la variación de relación de caudales

En las gráficas 51 a 59 ambas inclusive, están representadas las funciones correspondientes a cada amplitud y frecuencia, para distintas relaciones de caudales.

Como se puede observar en las gráficas anteriormente mencionadas, y como era de esperar, el valor de la H.T.U. vá disminuyendo conforme disminuye la relación de caudales, esto es, cuando aumenta la proporción de disolvente. Ahora bien, esta disminución del valor de la H.T.U. se aprecia que es mayor al pasar de la relación de caudales 4,69 a la 3,14 que al pasar de 3,14 a la 2,12 y esta es mayor que la disminución que experimenta al pasar de 2,12 a 1,04. Esto implica, que al aumentar la proporción del disolvente, aumenta la eficacia, pero llegará un momento en que el valor de la H.T.U. no varíe, o mejor dicho, lo haga muy poco, esto es, la altura de la columna de extracción, necesaria para una extracción determinada, será prácticamente la misma.

ESTUDIO ECONOMICO

El creciente interés del fenol, lo demuestra la evolución de importaciones de dicho producto (16)

1.965	2.702 toneladas	32.388.000 Pesetas
1.966	5.543 "	64.925.000 "
1.967	6.377 "	80.668.000 "
1.968	8.020 "	93.212.000 "
1.969	10.539 "	129.305.000 "
1.970	14.432 "	147.346.000 "
1.971	15.272 "	179.544.000 "
1.972	17.927 "	155.364.000 "
1.973	22.602 "	376.059.000 "
1.974	23.469 "	1.050.209.000 "
1.975	20.332 "	432.469.000 "
1.976	22.193 "	597.898.000 "

El precio del feno, ha evolucionado a partir de la crisis del petróleo considerablemente.

Precio de exportación:

1.973	18.000 Pts/t. fob
1.974	45.000 "
1.975	21.000 "
1.976	30.000 "

En España no existe ninguna fábrica de fenol, pero existen proyectos de instalación como son:

ERTISA en Huelva proyecta una planta de producción de 85.000 t/año, por vía cumeno, para puesta en marcha en 1.978.

CEPSA proyecta para su instalación en Algeciras una planta de producción de 100.000 t/año, por vía sintética.

Debido al aumento del precio del fenol y el de los mallas, es conveniente hacer un estudio económico, pra determinar la malla óptima económica.

En la tabla nº 31 se recogen los precios de las mallas a partir de 1.971 y se representan en la gráfica nº 61

En la tabla nº 31 se recogen los precios de fenol extraído, para las distintas mallas, a omplitud y frecuencia optimas, y se representan en la gráfica nº. 62

Tomando como base de cálculo 10 m³ de extracto, obtenemos los beneficios brutos para cada malla y año.

A continuación hallamos los beneficios relativos a la malla S.A.E. 120 (luz de malla = 0,14 mm). Vease la tabla nº 32 y la gráfica nº 63.

En la interpretación de las gráficas es interesante resaltar que:

1º.- La malla óptima económica es la S.A.E. 80

2º.- Son económicamente preferibles las mallas gruesas a las finas.

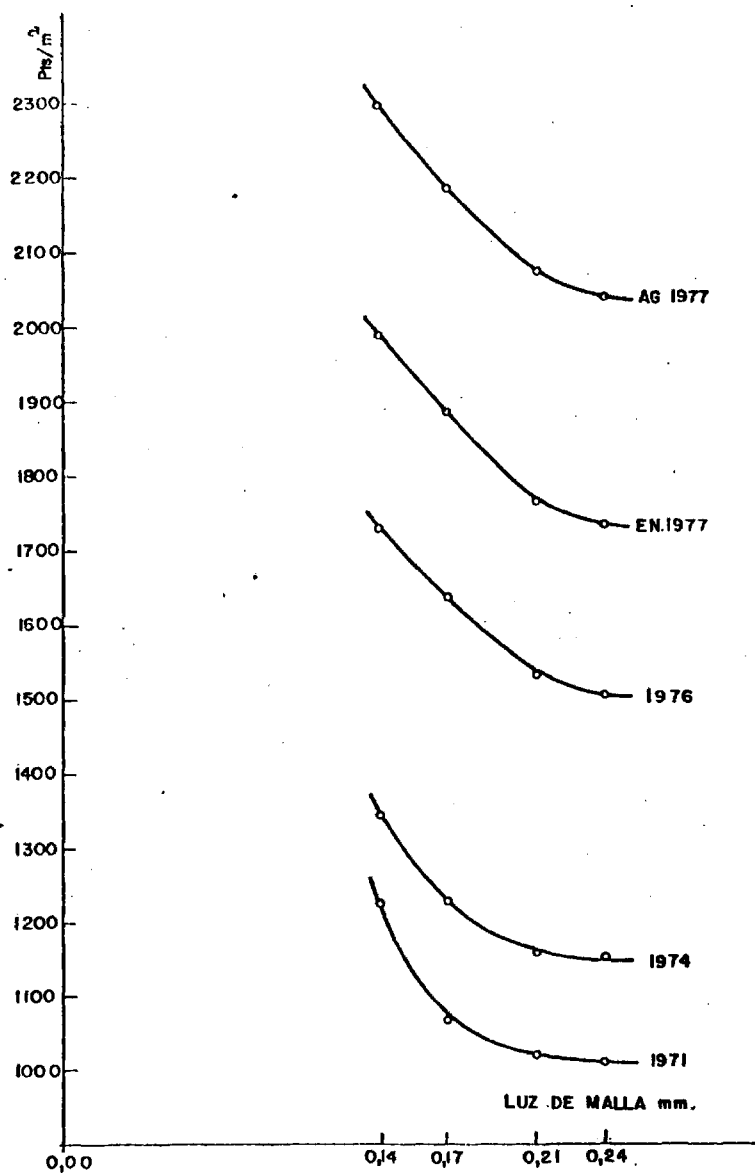
TABLA Nº. 31

MALLA DE ACERO INOXIDABLE TIPO 18/10

NÚMERO S.A.E. UCINOX	LUZ DE MALLA Mm.	JULIO 1.971 PTS/M2	FEBRERO 1.974 PTS/M2	JULIO 1.976 PTS/M2	ENERO 1.977 PTS/M2	AGOSTO 1.977 PTS/M2.
40	0,46	832	986	1.475	1.696	2.001
70	0,24	1.010	1.150	1.508	1.734	2.039
80	0,21	1.020	1.161	1.537	1.768	2.073
100	0,17	1.063	1.227	1.635	1.880	2.185
120	0,14	1.226	1.344	1.730	1.990	2.295

AMPLITUD = 0,75 CM FRECUENCIA = 150 OSC/MIN.

NÚMERO S.A.E. UCINOX	LUZ DE MALLA Mm.	CONCENTRACION EXTRACTO KG/M3.	AÑO 1.973 PTS/M3.	AÑO 1.974 PTS/M3.	AÑO 1.975 PTS/M3	AÑO 1.976 PTS/M3
70	0,24	37,63	678,24	1.695,60	791,28	1.130,40
80	0,21	38,31	689,56	1.723,95	804,51	1.149,30
100	0,17	37,05	666,90	1.667,25	772,05	1.111,50
120	0,14	35,80	644,40	1.611,00	751,80	1.074,00



PRECIO DE LAS MALLAS

FIGURA 61

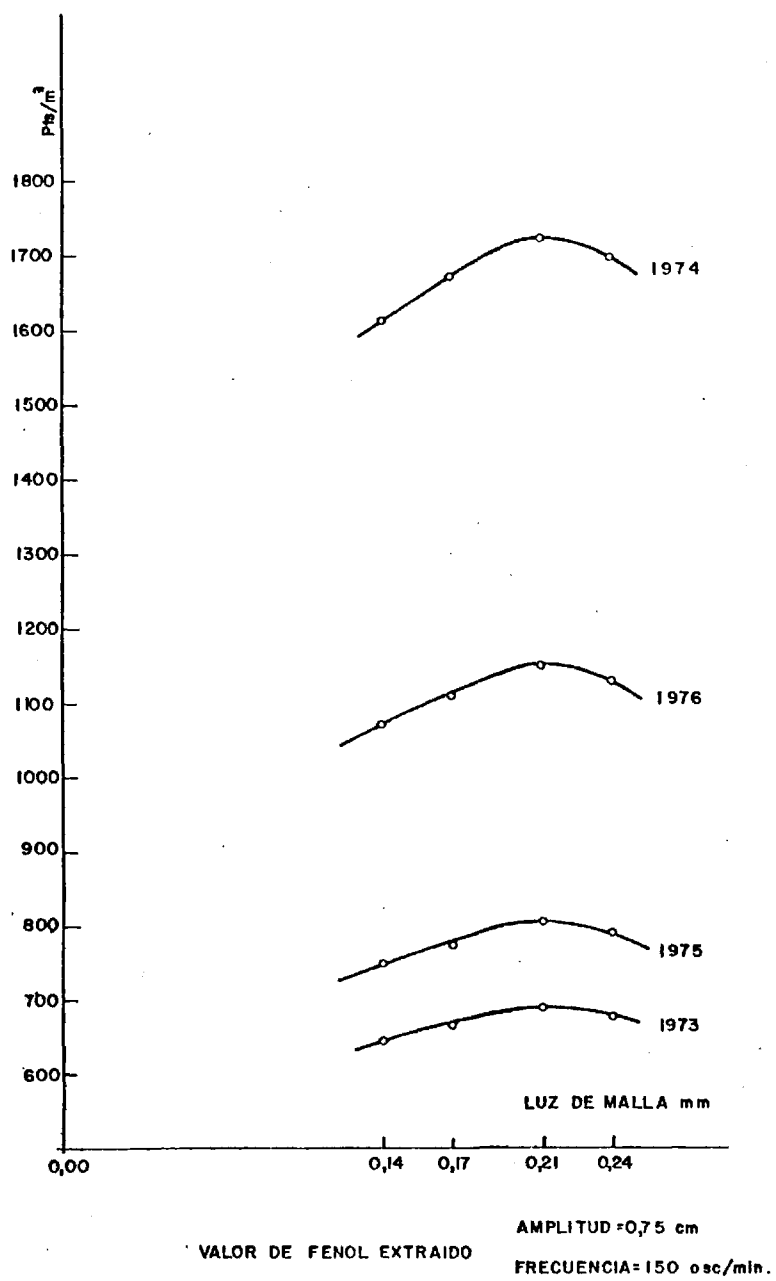


FIGURA 62

TABLA Nº. 32

MALLA DE ACERO INOXIDABLE TISO 18/10

NUMERO S.A.E. UCINOX	LUZ DE MALLA MM.	1.973 BENEFICIOS PTS.	1.974 BENEFICIOS PTS.	1.975 BENEFICIOS PTS.	1.976 BENEFICIOS PTS.
70	0,24	5.772,4	15.806,0	6.762,8	10.154,0
80	0,21	5.875,8	16.078,5	6.884,1	10.332,0
100	0,17	5.601,0	15.445,5	6.553,5	9.838,0
120	0,14	5.218,0	14.766,0	6.174,0	9.396,0

BENEFICIOS RELATIVOS RESPECTO DE LA MALLA 120

NUMERO S.A.E. UGINOX	LUZ DE MALLA MM	1.973	1.974	1.975	1.976
70	0,24	1,106	1,070	1,095	1,030
80	0,21	1,126	1,088	1,115	1,099
100	0,17	1,073	1,046	1,061	1,052
120	0,14	1	1	1	1

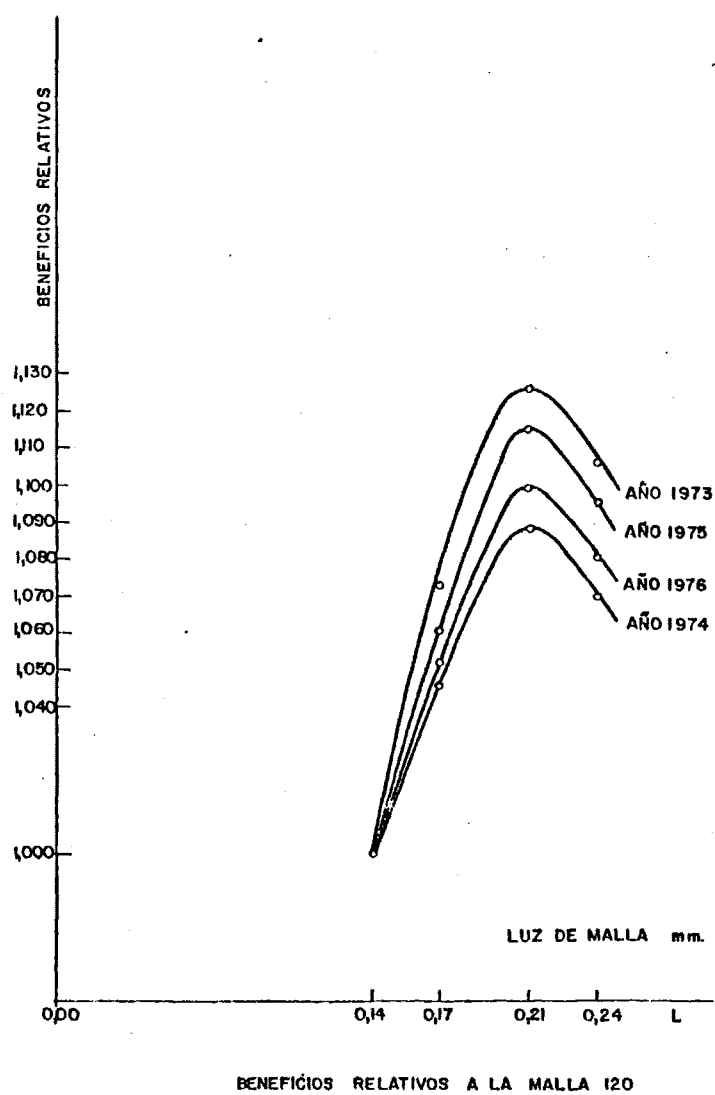


FIGURA 63

CONCLUSIONES

Como consecuencia de los resultados experimentales y en concordancia con las observaciones expuestas a lo largo de la memoria, se pueden establecer las siguientes conclusiones originales:

1º) Los resultados obtenidos confirman la hipótesis establecida por Vian, y confirmada por Segura, Lladó y Brusi en sus respectivas tesis doctorales para explicar el aumento de eficacia de los anillos de malla empleados en las operaciones de transferencia de materia: cuando el fenómeno tiene lugar entre fase líquida y gaseosa, al régimen laminar propio de los anillos Raschig se superpone otro régimen de burbujeo y de goteo a través de la malla. Pero cuando se trata de dos fases líquidas, y en presencia de una agitación pulsante, cual es nuestro caso, tiene lugar un régimen de penetración de las gotas dispersas por los retículos de las mallas.

2º) Los rellenos de anillos de malla respecto a los anillos Raschig en columnas pulsantes de extracción, presentan una mayor eficacia en todos los casos ensayados y pueden llegar a alcanzar una ventaja de 124 % sobre la del anillos continuo.

3º) Para el sistema ternario agua-fenol/benceno los óptimos relativos sobre el anillo Raschig se encuentran sobre la malla S.A.E. 80 ($L = 0,21$ mm), que representa el tamaño de orificio ideal para ser atravesado por la fase dispersa y reducir el tamaño de las gotas. Esta luz de malla crítica depende de las tensiones interfaciales del sistema ternario de extracción.

4º) Los mayores rendimientos de extracción se consiguen con amplitudes de agitación pequeñas y frecuencias relativamente grandes. En estas condiciones, la altura del elemento de transferencia se reduce, pero por un efecto distinto a la acción específica de la malla: el debido al aumento del tiempo de residencia por retención oscilante.

5º) Al disminuir la relación de caudales (caudal de aguas fenólicas respecto de caudal de benceno) aumenta la eficacia de extracción, por efectos de solubilidad, pero tendiendo a un límite.

6º) La malla óptima económica es la S.A.E. 80 ($L = 0,21$ mm) coincidiendo con la malla óptima de extracción.

7º) Son económicamente preferibles las mallas gruesas a las finas, lo que supone siempre disminuir costos operativos.

Por último queremos hacer notar, que debido a la aplicación de las columnas pulsantes en la recuperación de fenol de las aguas residuales de la industria, la utilización de anillos malla como

relleno, supondría una mayor eficacia y rendimiento económico.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- SCHEIBEL, E.G. "Chem Eng. Progr." Pag. 44,681,771. (1948)
- 2.- SCHEIBEL, E.G.A.I.Ch.El.J. Pag. 2,74 (1956)
- 3.- PERRY, H. JOHN "Chemical Engineers Handbook" Fourth edition Mc. Graw-Hill Book Company Inc. (1963). Pag. 18-27
- 4.- VIAN, A y SEGURA A. "Los anillos de malla como material de relleno para columnas de rectificación". Tesis doctoral. Madrid (1959)
- 5.- VIAN, A. y LLADO, J. "Comportamiento de los anillos de malla en las columnas de absorción". Tesis doctoral. Madrid (1962)
- 6.- VIAN, A. y BRUSI, J.M. "Rellenos de anillos de malla en la extracción pulsante". Tesis doctoral. Madrid (1970)
- 7.- CARRETERO, D. "Extracción de fenol en columnas pulsantes". Tesis doctoral. Oviedo (1962).
- 8.- ATHERTON SEIDELL, Ph.D. "Solubilities of organic compounds". Volume II (1941), pag. 378,379,385.
- 9.- VIAN, A, OCON, J. "Elementos de Ingeniería Química". Aguilar Ed. Madrid (1957). Pag. 556-561.
- 10.- TREYBAL, R.E. Weber, L.D., DALEY, J.F. Ind. Eng. Chem. Pag. 38,817 (1946)
- 11.- OTHER y TOBIAS: Ind. Eng. Chem., pag. 34693 (1942)
- 12.- BERL - LUNGE - D'ANS. "Métodos de análisis químico industrial". Tomo IV. Labor Ed. (1945) Pag. 332, 333.
- 13.- TREYBAL, ROBERT E. "Liquid Extracción". Mc. GRAW HILL. New York (1963). Pag. 344,
- 14.- PERRY, H. JOHN. "Chemical Engineers Handbook". Pag
- 15.- Manual para el control de la contaminación industrial, Pag. 93.
- 16.- La Industria Química en España - 1973, 1974, 1975, 1976.

INDICE DE TABLAS

<u>TABLAS</u>	<u>PAGINA</u>
1 Solubilidad del sistema Benceno-Fenol-Agua	18
2 Tanto por ciento en peso	19
3 Curvas de distribución y solubilidad	21
4 Malla de acero inoxidable tipo 18/10	27
5 Calibrado de los capilares	33
6 Resultados experimentales. Anillos Raschig	39
7 " " S.A.E. 70	40
8 " " S.A.E. 80	41
9 " " S.A.E. 100	42
10 " " S.A.E. 120	43
11 S.A.E. 80 Relación de caudales 4,69	44
12 " " " " " 3,14	45
13 " " " " " 2,12	46
14 " " " " " 1,04	47
15 H.T.U. Anillos Raschig.R. de Caudales 3	54
16 " S.A.E. 70 " " " "	55
17 " S.A.E. 80 " " " "	56
18 " S.A.E. 100 " " " "	57
19 " S.A.E. 120 " " " "	58
20 " S.A.E. 80 " " " 4,69	59
21 " S.A.E. " " " " 3,14	60
22 " S.A.E. " " " " 2,12	61
23 " S.A.E. " " " " 1,04	62
24 Ventaja relativa sobre el anillo Raschig para A=0,25 cm	64
25 " " " " " " A=0,75 cm	65
26 " " " " " " A=1,25 cm	66
27 " " " " " " A=1,80 cm	67

TABLAS

PAGINA

28	Ventaja relativa sobre el anillo Raschig para A=2,30 cm	68
29	" " " " " " " " A=2,80 cm	69
30	" " " " " " " " A=3,25 cm	70
31	Precios mallas y fenol	79
32	Beneficios relativos respecto de S.A.E. 120	80

INDICE DE FIGURAS

FIGURA

1	Instalación experimental	
2	Diagrama de equilibrio	
3	Rectas de reparto	
4	Curva de interpolación	
5	Punto crítico	
6	Calibrado magistral (aguas Fenolicas)	
7	Calibrado magistral (Benceno)	
8	H.T.U. frente F para A=0,25 cm	
9	" " " " A=0,75 cm	
10	" " " " A=1,25 cm	
11	" " " " A=1,80 cm	
12	" " " " A=2,30 cm	
13	" " " " A=2,80 cm	
14	H.T.U. frente A para F=88 osc/min.	
15	" " " " F=120 osc/min.	
16	" " " " F=150 osc/min.	
17	" " " " F=174 osc/min.	
18	" " " " F=208 osc/min.	
19	H.T.U. frente F para anillos Raschig	
20	" " " " malla S.A.E. 120	
21	" " " " " S.A.E. 100	
22	" " " " " S.A.E. 80	
23	" " " " " S.A.E. 70	
24	H.T.U. frente A para anillos Raschig	
25	" " " " malla 120	
26	" " " " " 100	
27	" " " " " 80	
28	" " " " " 70	

FIGURA

29	H.T.U. frente luz de malla para $A=0,25$ cm
30	" " " " " " $A=0,75$ cm
31	" " " " " " $A=1,25$ cm
32	" " " " " " $A=1,80$ cm
33	" " " " " " $A=2,30$ cm
34	" " " " " " $A=2,80$ cm
35	" " " " " " $A=3,25$ cm
36	H.T.U. frente luz de malla para $F=88$ osc/min.
37	" " " " " " $F=120$ osc/min.
38	" " " " " " $F=150$ osc/min.
39	" " " " " " $F=174$ osc/min.
40	" " " " " " $F=208$ osc/min.
41	Ventaja frente luz de malla para $A=0,25$ cm
42	" " " " " " $A=0,75$ cm
43	" " " " " " $A=1,25$ cm
44	" " " " " " $A=1,80$ cm
45	" " " " " " $A=2,30$ cm
46	" " " " " " $A=2,80$ cm
47	Ventaja frente luz de malla para $F=88$ osc/min.
48	" " " " " " $F=120$ osc/min.
49	" " " " " " $F=150$ osc/min.
50	" " " " " " $F=174$ osc/min.
51	" " " " " " $F=208$ osc/min.
52	H.T.U. frente F para $A=0,25$ cm para cada R_c
53	" " " " $A=0,75$ cm " " "
54	" " " " $A=1,25$ cm " " "
55	" " " " $A=1,80$ cm " " "

FIGURA

56	H.T.U. frente A para F=88 osc/min para cada Rc
57	" " " " F=120 osc/min " " "
58	" " " " F=150 osc/min " " "
59	" " " " F=174 osc/min " " "
60	" " " " F=208 osc/min " " "
61	Precio de las mallas
62	Valor de fenol extraído
63	Beneficios relativos a la malla S.A.E. 120